



Tesis - RE142551

**ANALISIS KETERSEDIAAN SUMBER DAYA AIR DAN  
UPAYA KONSERVASI SUB DAS LESTI  
KABUPATEN MALANG**

**ABDUL SOMAT BUKORI  
NRP. 3314202801**

**DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Ir. RACHMAT BOEDISANTOSO, MT**

**PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SANITASI LINGKUNGAN  
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017**



Tesis - RE142551

**ANALISIS KETERSEDIAAN SUMBER DAYA AIR DAN  
UPAYA KONSERVASI SUB DAS LESTI  
KABUPATEN MALANG**

**ABDUL SOMAT BUKORI  
NRP. 3314202801**

**DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Ir. RACHMAT BOEDISANTOSO, MT**

**PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SANITASI LINGKUNGAN  
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017**



Tesis - RE142551

# **ANALYSIS OF THE AVAILABILITY OF WATER RESOURCES AND CONSERVATION EFFORTS SUB-BASIN LESTI DISTRICT OF MALANG**

**ABDUL SOMAT BUKORI**  
**NRP. 3314202801**

**DOSEN PEMBIMBING**  
**Dr. Ir. RACHMAT BOEDISANTOSO, MT**

**PROGRAM MAGISTER**  
**BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SANITASI LINGKUNGAN**  
**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**SURABAYA**  
**2017**



Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M.T.)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Abdul Somat Bukori  
NRP. 3314 202 801

Tanggal Ujian : 05 Januari 2017  
Periode Wisuda : Maret 2017

Disetujui Oleh :

1. Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT.  
NIP. 19660116 199703 1 001

(Pembimbing)

2. Ir. Mas Agus Mardvanto, ME., Ph.D.  
NIP. 19620816 199003 1 004

(Penguji)

3. Adhi Yuniarto, ST., MT., Ph.D.  
NIP. 19730601 200003 1 001

(Penguji)

4. Bieby Voiijant Tangahu, ST., MT., Ph.D.  
NIP. 19710818 199703 2 001

(Penguji)

an. Direktur Program Pascasarjana  
Asisten Direktur

Direktur Program Pascasarjana,

Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng.  
NIP. 19611021 198603 1 001

Prof. Ir. Djauhar Manfaat, MSc., Ph.D  
NIP. 19601202 198701 1 001

# ANALISIS KETERSEDIAAN SUMBER DAYA AIR DAN UPAYA KONSERVASI SUB DAS LESTI KABUPATEN MALANG

Abdul Somat Bukori<sup>1</sup>, Rachmat Boedisantoso<sup>2</sup>

*Program Magister Teknik Sanitasi Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi*

*Sepuluh Nopember Surabaya, Indonesia*

[abdulsomatbukori@gmail.com](mailto:abdulsomatbukori@gmail.com)

## ABSTRAK

Sub DAS Lesti merupakan salah satu bagian hulu DAS Brantas yang terletak di wilayah Kabupaten Malang. Kondisi sub DAS Lesti telah mengalami kerusakan disebabkan berkurangnya tutupan lahan sehingga berpotensi mengalami defisit air. Defisit air pada musim kemarau pada tahun 2017 sebesar 2.141.057m<sup>3</sup> dan tahun 2023 sebesar 3.881.593m<sup>3</sup>. Untuk mengatasi defisit tersebut dilakukan upaya konservasi baik secara vegetasi dan mekanis. Luas lahan vegetasi yang dibutuhkan sampai tahun 2023 dengan penanaman pohon gaharu seluas 31,90 km<sup>2</sup>, dan bambu 17,12 km<sup>2</sup>. Kebutuhan pemanen air hujan media atap rumah sebanyak 2 bak penampung kapasitas masing-masing 32 m<sup>3</sup>. Kebutuhan embung sebanyak 3 embung kapasitas masing-masing 800.000 m<sup>3</sup>. Biaya investasi embung Rp. 264.187.069.875,- dikerjakan pada tahun 2017 sampai 2018. Dari aspek finansial pembangunan embung tersebut dengan suku bunga 11% pertahun nilai IRR = 13,89% > 11%; BCR, i (11%) = 1,05 > 1 dan NPV, i (11%) = Rp.40.390.322.590,-. Maka pembangunan embung tersebut secara finansial layak dilaksanakan.

**Kata Kunci:** kabupaten malang, kebutuhan air, ketersediaan air, konservasi, sub DAS Lesti.



# “ANALYSIS OF THE AVAILABILITY OF WATER RESOURCES AND CONSERVATION EFFORTS SUB-BASIN LESTI DISTRICT OF MALANG”

Abdul Somat Bukori<sup>1</sup>, Rachmat Boedisantoso<sup>2</sup>

*Post Graduate Program Environmental Sanitation Engineering, Environmental Engineering*

*Department, Sepuluh Nopember Institute of Technology (ITS) Surabaya, Indonesia*

[abdulsomatbukori@gmail.com](mailto:abdulsomatbukori@gmail.com)

## ABSTRACT

Lesti sub basin is one of the upstream part of Brantas river basin located in the district of Malang. Lesti sub-basin have been damaged due to less land thereby potentially experiencing a water deficit. The deficit of water in the dry season in 2017 is about 2.141.057 m<sup>3</sup> and 2023 will be 3.881.593 m<sup>3</sup>. Conservation both vegetation and mechanical is needed to overcome this condition. The land required for the plants until 2023 with the Tree of Agarwood covering an area of 31.90 km<sup>2</sup>, and bamboo 17.12 km<sup>2</sup>. Rainwater harvesting using roofs as much as 2 water storage tanks with a total capacity of 32 m<sup>3</sup>. The establishment of 3 embung require total land of 60 ha with 800.000 m<sup>3</sup> in capacity of each embung. The cost of the embung investments of Rp. 264.187.069.875,- completed in 2017 to 2018. Financial aspects of the construction of the water reservoir with an interest rate of 11% per year; IRR = 13,89%; BCR, i (11%) = 1,05 and NPV, i (11%) = Rp. 40.390.322.590,-. Therefore with this financial analysis the embung is eligible to construct.

**Keywords:** water requirements; availability of water; conservation; sub das lesti

## KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah Yang Maha Kuasa yang telah memberi rahmat, taufik, hidayah, berkah dan bimbingan-Nya sehingga Tesis dengan judul “Analisis Ketersediaan Sumber Daya Air dan Upaya Konservasi Sub DAS Lesti Kabupaten Malang” telah selesai. Tesis ini merupakan salah satu syarat kelulusan dalam menempuh jenjang Pendidikan Pasca Sarjana Program Magister Teknik Sanitasi Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan – ITS Surabaya.

Tersusunnya Tesis ini tidak lepas dari bantuan yang diberikan oleh beberapa pihak. Untuk itu saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr.Ir. Rachmat Boedisantoso, MT. selaku dosen pembimbing dan dosen wali yang telah memberikan bimbingan, petunjuk, arahan dan motivasi kepada saya dalam menyusun Tesis ini.
2. Bapak Ir. Mas Agus Mardyanto, ME.,Ph.D., Bapak Adhi Yuniarto, ST., MT.,Ph.D. dan Ibu Bieby Voijant Tangahu, ST., MT.,Ph.D. selaku dosen penguji.
3. Kedua orang tuaku, bapak dan ibu yang senantiasa mendo’akan yang terbaik.
4. Istriku, Siswi Eka Kusumawati dan puraku Hasif Dhiyyaurrahman Bukori, yang senantiasa memberikan dukungan, semangat dan pengertian.
5. Semua teman-teman kuliah MTSL ITS 2015 yang telah membantu penyusunan Tesis ini.
6. Seluruh jajaran pimpinan dan rekan-rekan di unit kerja SNVT PJSA Brantas.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu di sini.

Saya menyadari bahwa dalam penyusunan Tesis ini masih terdapat kekurangan dan jauh dari sempurna. Oleh karena itu saya mohon maaf yang sebesar-besarnya serta kritik dan saran untuk kesalahan serta kekurangan yang ada. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi saya khususnya dan pembaca pada umumnya.

Surabaya, Januari 2017

Penyusun

## DAFTAR ISI

Daftar Isi	i
Daftar Gambar	ii
Daftar Tabel	iii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan	3
1.4. Manfaat	4
1.5. Ruang Lingkup	4
BAB 2. KAJIAN PUSTAKA	5
2.1. Daur Hidrologi	5
2.2. Curah Hujan Rerata Daerah	6
2.2.1. Metode Poligon Thiessen	7
2.3. Suhu	9
2.4. Evapotranspirasi Potensial	10
2.4.1. Evapotranspirasi Potensial Metode Thornthwaite	12
2.5. Permukaan Lahan Terbuka ( <i>expose surface</i> )	15
2.6. Evapotranspirasi Aktual	15
2.7. Penyimpanan Kelembaban Tanah	16
2.8. Kelebihan Air ( <i>water surplus</i> )	17
2.9. Infiltrasi	17
2.10. Penyimpanan Air Tanah ( <i>ground water storage</i> )	18
2.11. Limpasan Dasar ( <i>base flow</i> )	20
2.12. Limpasan Langsung ( <i>direct flow</i> )	20
2.13. Total Limpasan	21
2.14. Ketersediaan Air (Air Permukaan)	21
2.15. Kebutuhan Air	22
2.15.1. Kebutuhan Air Non Irigasi	23
2.16. Konservasi Sumber Daya Air	26



2.16.1. Metode Vegetasi	26
2.16.2. Metode Mekanis (Pemanen Air Hujan)	31
2.17. Aspek Finansial	34
 BAB 3. METODE PENELITIAN	 37
3.1. Pola Pikir Pelaksanaan Tesis	37
3.2. Pelaksanaan Pengerjaan Tesis	38
3.2.1. Pengumpulan Dara	38
3.2.2. Analisa Teknis	39
3.2.3. Analisa Konservasi Sumber Daya Air	43
3.2.4. Analisa Finansial	44
3.3. Bagan Metodologi	44
 BAB 4. GAMBARAN UMUM WILAYAH	 47
4.1. Administrasi dan Letak Geografis	47
4.2. Keadaan Iklim	47
4.3. Ketersediaan Pos Hujan	48
4.4. Ketersediaan Pos Duga Air	49
4.5. Topografi	49
4.6. Kemiringan Lahan	50
4.7. Tata Guna Lahan	50
4.8. Data Penduduk	53
4.9. Fasilitas Kesehatan	55
4.10. Fasilitas Pendidikan	55
4.11. Peribadatan	55
4.12. Peternakan	57
 BAB 5. ANALISA DAN PEMBAHASAN	 61
5.1. Perhitungan Curah Hujan Rerata Daerah	61
5.2. Analisis Suhu	67
5.2.1. Perbedaan Suhu Antara Stasiun Hujan	68
5.2.2. Pendugaan Suhu Stasiun Hujan	69
5.3. Evapotranspirasi Potensial	71

5.3.1.	Indeks Panas	72
5.3.2.	Evapotranspirasi Potensial Belum Disesuaikan Garis Bujur dan Bulan	74
5.3.3.	Koefisien Penyesuaian Bujur dan Bulan	76
5.3.4.	Evapotranspirasi Potensial Wilayah	78
5.4.	Analisis Debit Metode FJ.Mock	81
5.5.	Analisis Kebutuhan Air	85
5.5.1.	Kebutuhan Domestik	85
5.5.2.	Kebutuhan Non Domestik	91
5.6.	Analisis Keseimbangan Air	102
5.7.	Analisis Konservasi Sumber Daya Air	104
5.7.1.	Analisis Metode Vegetasi	105
5.7.2.	Analisis Metode Mekanis	110
5.8.	Analisis Finansial	119
5.8.1.	Komponen Biaya	119
5.8.2.	Manfaat Proyek	120
5.8.3.	Indikator Kelayakan Finansial	121
5.8.4.	Analisis Biaya Investasi Pembuatan Embung	121
5.8.5.	Analisis Manfaat	123
5.8.6.	Analisis BCR, NPV dan IRR	123
BAB 6.	KESIMPULAN DAN SARAN	127
6.1.	Kesimpulan	127
6.2.	Saran	128

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

## **DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2.1 Daur Hidrologi	6
Gambar 2.2 Poligon Thiessen	8
Gambar 2.3 Kayu Gaharu	30
Gambar 2.4 Ilustrasi Bangunan Penangkap Air Hujan dan Atap Rumah	33
Gambar 2.5 Embung	34
Gambar 3.1 Bagan Metodologi	45
Gambar 4.1 Peta Lokasi Stasiun Hujan di Sub DAS Lesti	48
Gambar 4.2 Sebaran Tingkat Tutupan Lahan	52

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pemilihan Metode Penentuan Curah Hujan	7
Tabel 2.2 Metode dan Data Pendukung Evapotranspirasi Potensial	12
Tabel 2.3 Koefisien Penyesuaian Menurut Bujur dan Bulan	14
Tabel 2.4 Lengas Tanah	18
Tabel 2.5 Nilai Parameter Model FJ. Mock	21
Tabel 2.6 Kebutuhan Air untuk Ternak	25
Tabel 2.7 Kedalaman Efektif Tanaman Dewasa	27
Tabel 2.8 Kapasitas Simpanan Air Tersedia	27
Tabel 4.1 Wilayah Kecamatan Yang Masuk Sub DAS Lesti	47
Tabel 4.2 Lokasi Stasiun Hujan di Sub DAS Lesti	48
Tabel 4.3 Jenis Tanah di Sub DAS Lesti	50
Tabel 4.4 Luasan Lereng di Sub DAS Lesti	51
Tabel 4.5 Sebaran Penggunaan Lahan	51
Tabel 4.6 Kondisi Tutupan Lahan per Kecamatan	52
Tabel 4.7 Jumlah dan Kepadatan Penduduk (2000-2010)	54
Tabel 4.8 Jumlah Pertumbuhan Penduduk per tahun (2003-2013)	54
Tabel 4.9 Jumlah Fasilitas Kesehatan	56
Tabel 4.10 Jumlah Fasilitas Pendidikan	56
Tabel 4.11 Jumlah Fasilitas Ibadah	57
Tabel 4.12 Populasi Ternak Besar	58
Tabel 4.13 Populasi Ternak Kecil	58
Tabel 4.14 Populasi Ternak Unggas	59
Tabel 5.1 Luasan Stasiun Hujan dengan Poligon Thieseen	61
Tabel 5.2 Data Curah Hujan Bulanan Sta. Poncokusumo	62
Tabel 5.3 Data Curah Hujan Bulanan Sta. Turen (Tumpakrenteng)	62
Tabel 5.4 Data Curah Hujan Bulanan Sta. Dampit	63
Tabel 5.5 Curah Hujan pada Januari 2003	63
Tabel 5.6 Curah Hujan Rerata Daerah	64
Tabel 5.7 Jumlah Hari Hujan Sta. Poncokusumo	65
Tabel 5.8 Jumlah Hari Hujan Sta. Turen (Tumpakrenteng)	65
Tabel 5.9 Jumlah Hari Hujan Sta. Dampit	66

Tabel 5.10 Jumlah Hari Hujan pada Bulan Januari 2003	67
Tabel 5.11 Jumlah Hari Rerata Wilayah	67
Tabel 5.12 Suhu Tahunan	67
Tabel 5.13 Perbedaan Suhu	69
Tabel 5.14 Pendugaan Suhu Sta.Poncokusumo	70
Tabel 5.15 Pendugaan Suhu Sta. Turen (Tumpakrenteng)	70
Tabel 5.16 Pendugaan Suhu Sta. Dampit	71
Tabel 5.17 Nilai Indeks Panas Bulanan Sta. Poncokusumo 2003	72
Tabel 5.18 Nilai Indeks Panas Tahunan Sta. Pomcokusumo	73
Tabel 5.19 Nilai Indeks Panas Tahunan Sta. Turen	73
Tabel 5.20 Nilai Indeks Panas Tahunan Sta. Dampit	74
Tabel 5.21 Evapotranspirasi Potensial Belum Disesuaikan Garis Bujur (f) Sta. Poncokusumo	75
Tabel 5.22 Evapotranspirasi Potensial Belum Disesuaikan Garis Bujur (f) Sta. Turen	75
Tabel 5.23 Evapotranspirasi Potensial Belum Disesuaikan Garis Bujur (f) Sta. Dampit	76
Tabel 5.24 Koordinat Stasiun Hujan	76
Tabel 5.25 Koefisien Penyesuaian Menurut Bujur dan Bulan	77
Tabel 5.26 Koefisien Penyesuaian Menurut Garis Lintang/Bujur	78
Tabel 5.27. Evapotranspirasi Potensial (ETo) Sta. Poncokusumo	79
Tabel 5.28. Evapotranspirasi Potensial (ETo) Sta. Turen	79
Tabel 5.29 Evapotranspirasi Potensial (ETo) Sta. Dampit	80
Tabel 5.30. Nilai Evapotranspirasi potensial total di Sub DAS Lesti	81
Tabel 5.31. Analisis Debit Metode FJ.Mock Tahun 2003	82
Tabel 5.32. Analisa Debit Andalan	83
Table 5.33. Debit Efektif per Tahun	84
Tabel 5.34. Debit Andalan 90%	85
Tabel 5.35. Nilai “r” dengan menggunakan metode Aritmatik pada Kec. Poncokusumo	86
Tabel 5.36. Nilai “r” dengan menggunakan metode Geometrik pada Kec. Poncokusumo	86

Tabel 5.37. Nilai “r” dengan menggunakan metode Last Squares pada Kec. Poncokusumo	87
Tabel 5.38. Proyeksi Penduduk Pada Masing-masing Kecamatan Tahun 2014-2023	88
Tabel 5.39 Proyeksi Kebutuhan Air Domestik Tahun 2016 – 2023	90
Tabel 5.40 Nilai “r” dengan menggunakan metode Aritmatik	91
Tabel 5.41 Nilai “r” dengan menggunakan metode Geometrik	92
Tabel 5.42 Nilai “r” dengan menggunakan metode Last Squares	92
Tabel 5.43. Proyeksi Jumlah Pegawai pada Tahun 2016-2023	93
Tabel 5.44. Proyeksi Kebutuhan Air Perkantoran Tahun 2016 – 2023	94
Tabel 5.45. Proyeksi Kebutuhan Air Fasilitas Kesehatan 2016 – 2023	95
Tabel 5.46. Proyeksi Kebutuhan Air Fasilitas Pendidikan 2016 – 2023	96
Tabel. 5.47. Proyeksi Kebutuhan Air Tempat Ibadah 2016 – 2023	97
Tabel 5.48. Proyeksi Kebutuhan Air Ternak Besar Tahun 2016 – 2023	99
Tabel 5.49. Proyeksi Kebutuhan Air Ternak Kecil Tahun 2016 – 2023	99
Tabel 5.50. Proyeksi Kebutuhan Air Ternak Unggas Tahun 2016 – 2023	99
Tabel 5.51. Proyeksi Kebutuhan Total Air Peternakan (QPT) Tahun 2016 – 2023	100
Tabel 5.52. Proyeksi Kebutuhan Air Industri 2016-2023	100
Tabel 5.53. Proyeksi Total Kebutuhan Air Domestik (QDOM) 2016-2023	101
Tabel 5.54. Proyeksi Total Kebutuhan Air Non Domestik (QNon Dom) 2016-2023	101
Tabel 5.55 Keseimbangan Air Tahun 2016	103
Tabel 5.56. Rekapitulasi Rata-rata Defisit Air Pada Musim Kemarau (Per Tahun) 2016-2023	104
Tabel 5.56a Luasan Lahan Semak Belukar di Kecamatan Krisis Air	105
Tabel 5.57. Simpanan Lengas Tanah	106
Tabel 5.58 Kebutuhan Lahan untuk Konservasi Vegetasi (Pohon Gaharu)	108
Tabel 5.58a Sisa defisit air yang akan diatasi dengan tanaman bamboo	108
Tabel 5.58b Kebutuhan Lahan Bambu pada tahun 2017 s.d 2023	109
Tabel 5.59. Sebaran Vegetasi (Pohon Gaharu)	109
Tabel 5.59a. Sebaran Vegetasi (Bambu)	110



Tabel 5.60 Penguapan Pada Musim Kemarau	114
Tabel 5.61 Volume Penguapan Kolam Embung	114
Tabel 5.71. Kebutuhan Volume Kolam Embung untuk kebutuhan (Domestik + Non Domestik)	115
Tabel 5.72. Kebutuhan Embung (Domestik + Non Domestik) 2016 - 2023	116
Tabel 5.73. Desifit Air terhadap Kebutuhan Domestik dan Peternakan	116
Tabel 5.74. Kebutuhan Volume Kolam Embung (Domestik + Peternakan)	117
Tabel 5.75. Kebutuhan Embung (Domestik + Peternakan) 2016-2023	118
Tabel 5.76. Biaya Investasi Embung	122
Tabel 5.77. Perhitungan Keuntungan Per Tahun	123
Tabel 5.78 Nilai BCR, NPV dan IRR (Pembangunan 3 Embung, 2017 s/d 2018)	124
Tabel 5.79 Nilai BCR, NPV dan IRR (Pembangunan 2 Embung, 2020 s/d 2021)	125

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Sub DAS Lesti merupakan bagian dari DAS Brantas bagian hulu terletak di wilayah Kabupaten Malang, Propinsi Jawa Timur. Sungai utama di Sub DAS yang memiliki luas  $\pm 635 \text{ km}^2$  ini adalah Kali Lesti. Kali Lesti merupakan anak sungai Kali Brantas, yang bermata air di lereng Gunung Semeru, mengalir sepanjang  $\pm 55 \text{ km}$ . Pertemuan Kali Lesti dengan Kali Brantas di Waduk Sengguruh Desa Sengguruh, Kecamatan Kepanjen, Kabupaten Malang. Secara administratif wilayahnya meliputi 12 kecamatan, antara lain: Poncokusumo, Wajak, Dampit, Tirtoyudo, Turen, Gondanglegi, Sumber manjing, Bululawang, Pagelaran, Gedangan, Bantur dan Pagak. Jumlah penduduk dari tahun 2000 sampai 2010 meningkat sekitar 43.482 jiwa. Selama kurun waktu 10 tahun terdapat perkembangan jumlah penduduk yang cukup besar dengan rata-rata pertumbuhan sebesar 0,49% pertahun. Penyebaran kepadatan penduduk pada masing-masing kecamatan yang paling kecil dan paling besar berturut-turut adalah Kecamatan Gedangan sebesar 398 jiwa/km<sup>2</sup> dan Kecamatan Turen sebesar 1.748 jiwa/km<sup>2</sup>. Sehingga rata-rata pertumbuhan penduduk sebesar 0,49% (BPS Kab. Malang, dalam Kab. Malang Dalam Angka, 2010). Pembangunan sekolah dasar hingga sekolah menengah tingkat atas mengalami peningkatan, dari tahun 2009 sebesar 583 unit menjadi 613 unit di tahun 2014 (Dinas Pendidikan Kab. Malang, 2009 & 2014).

Berdasarkan data yang dihimpun dari Sistem Informasi dan Data (SISDA) BBWS Brantas kondisi sub DAS Lesti telah banyak mengalami kerusakan dan penurunan fungsi. Pada periode tahun 2003 sampai 2013 telah terjadi perubahan tata guna lahan. Perubahan tersebut terjadi pada luasan lahan sawah, tegal, permukiman, perkebunan, hutan dan semak belukar. Luasan sawah dari 36,78 km<sup>2</sup> menjadi 35,23 km<sup>2</sup> (5,5%). Luasan lahan tegalan dari 117,34 km<sup>2</sup> menjadi 131,40 km<sup>2</sup> (20,7%), Permukiman dari 38,10 km<sup>2</sup> menjadi 41,91 km<sup>2</sup>

(6,6%). Perkebunan dari 192,43 km<sup>2</sup> menjadi 278,85 km<sup>2</sup> (43,9%). Hutan dari 195,90 km<sup>2</sup> menjadi 90,67 km<sup>2</sup> (14,3%), dan Semak belukar dari 54,45 km<sup>2</sup> menjadi 56,94 km<sup>2</sup> (9%) (BBWS Brantas, 2013). Jika dilihat dari kondisi tutupan lahan di sub DAS Lesti prosentase tingkat penutupan 0-20% (sangat buruk) seluas 98,85 km<sup>2</sup>. Tutupan lahan dengan prosentase tingkat penutupan 20-40% (buruk) seluas 166,63 km<sup>2</sup>. Prosentase tingkat penutupan lahan 40-60% (kondisi sedang) seluas 278,85 km<sup>2</sup> dan prosentase penutupan lahan 60-80% (baik) seluas 90,67 km<sup>2</sup>. Dengan kondisi tutupan lahan tersebut menyebabkan potensi sumber air mengalami penurunan dari 77 sumber air pada tahun 2003 menjadi 35 sumber air di tahun 2013. Sumber air yang terbesar adalah sumber air Ubalan yang berada di Desa Pamotan Kecamatan Dampit dengan debit 50 ltr/detik. Sumber air yang terkecil adalah sumber air Wek yang terletak di Desa Gamping Kecamatan Pagak dengan kapasitas debitnya 2 ltr/detik (BBWS Brantas, 2013). Kondisi tersebut membuat Kabupaten Malang secara umum berpotensi mengalami bencana kekeringan. Pada musim kemarau wilayah yang berpotensi mengalami kekeringan di Kabupaten Malang cenderung meningkat. Pada tahun 2013 kekeringan melanda 4 kecamatan, pada tahun 2014 kekeringan menimpa 10 kecamatan (BPBD Kab. Malang, 2014). Kecamatan yang mengalami kekeringan di wilayah studi antara lain: Turen, Gondanglegi, Sumbermanjing, Gedangan, Pagak dan Bantur. Kondisi tersebut sangat berpengaruh terhadap ketersediaan air di sub DAS Lesti. Ketersediaan air merupakan fungsi waktu yang berlebih dan berkurang. Pada musim penghujan keberadaan air berlebih dalam bentuk banjir yang menimbulkan kerugian bagi masyarakat, disisi lain pada musim kemarau ketersediaan air berkurang untuk dapat memenuhi kebutuhan air yang relatif tetap bahkan meningkat (Triatmojo, 2010).

Terkait dengan permasalahan tersebut, penulis tertarik untuk melakukan analisis secara teknis mengenai ketersediaan sumber daya air yang ada di wilayah tersebut terhadap kebutuhan air yang tiap tahun meningkat. Untuk menjaga ketersediaan sumber daya air baik masa sekarang maupun yang akan datang, diperlukan analisis konservasi sumber daya air. Analisis konservasi sumber daya air yang dilakukan di wilayah studi bertujuan untuk meminimalisir defisit air yang

terjadi pada musim kemarau. Upaya yang dapat dilakukan antara lain dengan mengembalikan fungsi lahan sebagai lahan konservasi (vegetasi) dan penyediaan pemanen air hujan (mekanis). Konservasi tersebut, jika ditinjau dari aspek finansial diharapkan kegiatan tersebut menguntungkan bagi masyarakat. Masyarakat yang awalnya mengalami kerugian akibat kekeringan diharapkan mendapatkan keuntungan baik secara langsung maupun tidak langsung dengan adanya penanaman pohon dan penampungan air. Melihat pentingnya aspek-aspek tersebut, maka pada penelitian ini aspek yang akan dibahas adalah aspek teknis, lingkungan dan finansial. Oleh sebab itu penulis memilih judul tesis “**Analisis Ketersediaan Sumber Daya Air dan Upaya Konservasi Sub DAS Lesti Kabupaten Malang**”.

### **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang ada, maka perumusan masalah dalam tesis ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Bagaimana ketersediaan air di Sub DAS Lesti pada saat ini maupun masa yang akan datang (sampai tahun 2023);
2. Bagaimana upaya konservasi sumber daya air yang harus dilakukan untuk menjaga keberlangsungan kuantitas ketersediaan air di masa mendatang;
3. Dari aspek finansial, apakah upaya konservasi secara mekanik (pembangunan embung) layak untuk dilaksanakan.

### **1.3. Tujuan**

Berdasarkan rumusan masalah yang sudah diuraikan diatas, maka penyusunan tesis ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis ketersediaan air yang ada di sub DAS Lesti pada saat ini sampai tahun 2023;
2. Menganalisis konservasi sumber daya air untuk meminimalisir defisit air pada musim kemarau dan menjaga keberlangsungan kuantitas sumber daya air sampai tahun 2023;

3. Menganalisis kelayakan secara finansial dalam upaya konservasi secara mekanik (pembangunan embung).

#### **1.4. Manfaat**

Diharapkan hasil penelitian ini bisa dijadikan sebagai konsep terpadu dalam pengelolaan sumber daya air, khususnya di sub DAS Lesti terutama pada masa kekeringan. Dengan pengelolaan sumber daya air yang baik, diperoleh ketersediaan air yang memenuhi secara berkelanjutan. Pengelolaan sumber daya air yang baik juga dapat meminimalisir krisis air bersih dalam penyediaan air untuk sektor-sektor penting lainnya yang selalu terjadi setiap tahun.

#### **1.5. Ruang Lingkup**

Ruang lingkup yang ingin di kaji dalam penyusunan penelitian ini adalah:

1. Permasalahan yang dibahas hanya pada lingkup sub DAS Lesti.
2. Tidak memperhitungkan besarnya tingkat erosi terhadap kelerengan.
3. Perhitungan kebutuhan air untuk kebutuhan air domestik dan non domestik.
4. Debit air (ketersediaan air) yang digunakan adalah debit air permukaan.
5. Perhitungan debit air menggunakan metode FJ.Mock dan dikalibrasi dengan debit AWLR (pengamatan).
6. Hanya membahas aspek teknis, lingkungan dan finansial sebagai upaya konservasi sub DAS Lesti.
7. Tidak menganalisis pengaruh kualitas air dalam penyediaan air baku.
8. Tidak mendisain struktur embung.

## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **2.1. Daur Hidrologi**

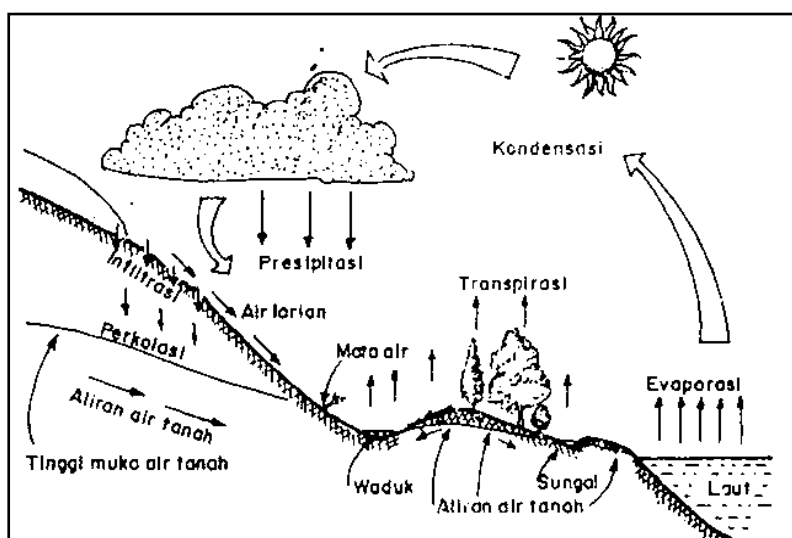
Daur hidrologi adalah perjalanan air dari permukaan laut ke atmosfer kemudian ke permukaan tanah dan kembali lagi ke laut yang tidak pernah berhenti (Asdak, 2010). Dalam daur hidrologi, energi panas matahari dan faktor-faktor iklim lainnya menyebabkan proses evaporasi pada permukaan vegetasi dan tanah, di laut atau badan-badan air lainnya. Uap air sebagai hasil proses evaporasi akan terbawa angin melintasi daratan dan ke atmosfer, sebagian uap air tersebut akan terkondensasi dan turun sebagai air hujan. Sebelum mencapai permukaan tanah, air hujan akan tertahan oleh tajuk vegetasi. Sebagian dari air hujan tersebut akan tersimpan di permukaan tajuk/daun, sebagian lainnya akan jatuh ke permukaan tanah dan sebagian yang lain terevaporasi ke atmosfer.

Air hujan yang dapat mencapai permukaan tanah, sebagian akan masuk ke dalam tanah (*infiltrasi*). Air hujan yang tidak terserap ke dalam tanah akan tertampung sementara dalam cekungan-cekungan permukaan tanah (*surface detention*). Air hujan kemudian mengalir di atas permukaan tanah ke tempat yang lebih rendah (*runoff*), selanjutnya masuk ke sungai. Air infiltrasi akan tertahan di dalam tanah oleh gaya kapiler yang selanjutnya akan membentuk kelembaban tanah. Apabila tingkat kelembaban tanah telah cukup jenuh maka air hujan yang baru masuk ke dalam tanah akan bergerak secara lateral (horizontal).

Untuk selanjutnya pada tempat tertentu akan keluar lagi ke permukaan tanah (*sub-surface flow*) dan akhirnya mengalir ke sungai. Alternatif lainnya, air hujan yang masuk ke dalam tanah akan bergerak vertikal ke tanah yang lebih dalam dan menjadi bagian dari air tanah (*groundwater*). Air tanah tersebut, terutama pada musim kemarau, akan mengalir pelan-pelan kesungai, danau atau tempat penampungan air alamiah lainnya (*base flow*).



Daur hidrologi secara alamiah dapat ditunjukkan seperti terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Daur hidrologi (Asdak, 2010)

## 2.2. Curah Hujan Rerata Daerah

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rencana pemanfaatan air adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah hujan rerata wilayah/daerah dan dinyatakan dalam mm (Sosrodarsono dan Takeda, 2003). Terdapat tiga cara yang dapat digunakan dalam menentukan tinggi curah hujan rata-rata pada area tertentu dari angka-angka curah hujan di beberapa pos penangkar atau pencatat. Ketiga cara tersebut yaitu cara perhitungan rata-rata aritmatika, cara Poligon Thiesen dan cara Isohyet (Soemarto, 1999).

Pemilihan metode yang cocok digunakan dalam perhitungan curah hujan daerah dapat ditentukan dengan pertimbangan beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut antara lain: jumlah pos penangkar hujan, luas DAS dan kondisi topografi (Suripin, 2004). Pemilihan metode penentuan curah hujan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1. Luas sub DAS Lesti adalah 635 km<sup>2</sup> dan topografinya adalah dataran, maka untuk menghitung curah hujan daerah menggunakan metode Poligon Thiesen.

Tabel 2.1 Pemilihan Metode Penentuan Curah Hujan

1	Jumlah Pos Penangkar Hujan	Metode
-	Cukup	Isohyet, Poligon Thiesen atau Rerata Aljabar
-	Terbatas	Isohyet, Poligon Thiesen atau Rerata Aljabar
-	Tunggal	Rerata Aljabar atau Poligon Thiesen
2	Luas DAS	Metode
-	DAS besar ( $>5000 \text{ km}^2$ )	Isohyet
-	DAS sedang (500 s/d $5000 \text{ km}^2$ )	Poligon Thiesen
-	DAS kecil ( $<500 \text{ km}^2$ )	Rerata Aljabar
3	Topografi	Metode
-	Pegunungan	Rerata Aljabar
-	Dataran	Poligon Thiesen
-	Berbukit dan tidak beraturan	Isohyet

Sumber: Suripin, 2004

### 2.2.1. Metode Poligon Thiessen

Metode ini dikenal sebagai metode rata-rata timbang (*weighted mean*). Cara ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos penakar hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak, sehingga hasil Metode Poligon Thiessen lebih akurat dibanding Metode Rata-rata Hitung. Daerah pengaruh dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antar dua pos penakar hujan terdekat. Diasumsikan bahwa variasi hujan antara pos yang satu dengan lainnya adalah linear dan bahwa sebaran pos dianggap mewakili kawasan terdekat. Bentuk Poligon Thiessen dapat dilihat pada Gambar 2.2.

Prosedur penerapan metode sebagai berikut:

- Lokasi pos penakar hujan diplot pada peta DAS dan antar pos penakar dibuat garis lurus penghubung.
- Tarik garis tengah lurus ditengah-tengah tiap garis penghubung sedemikian rupa hingga membentuk poligon Thiessen. Semua titik dalam satu poligon akan mempunyai jarak terdekat dengan pos penakar yang ada di dalamnya dibandingkan dengan jarak terhadap pos lainnya. Selanjutnya, curah hujan pada pos tersebut dianggap representasi hujan pada kawasan dalam poligon yang bersangkutan.

- c. Luas areal pada tiap-tiap poligon dapat diukur dengan planimeter dan luas total DAS (A) dapat diketahui dengan menjumlahkan semua luasan poligon.
- d. Curah hujan rerata DAS dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$R$	$=$	$\frac{A_1.R_1 + A_2.R_2 + ..... + A_n.R_n}{A_1 + A_2 + .... + A_n}$
-----	-----	----------------------------------------------------------------------

(2.1)

Dimana:

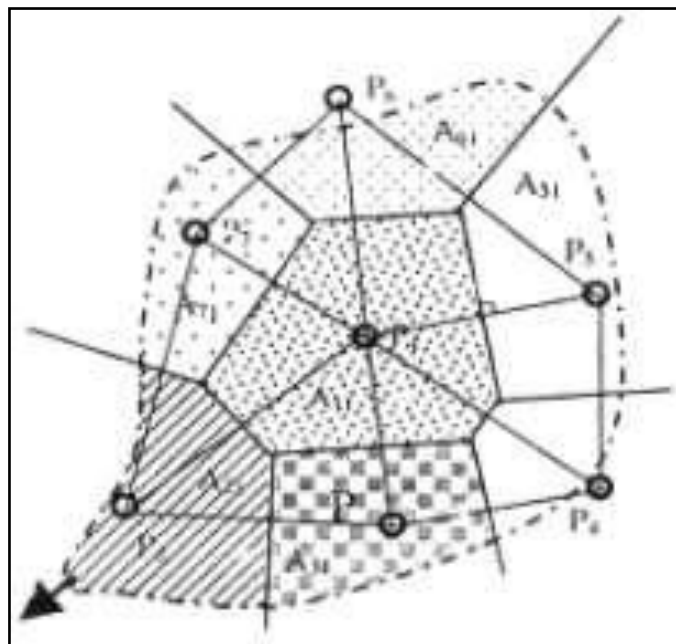
$R$  = curah hujan daerah rata-rata (mm)

$R_1, R_2, ... R_n$  = curah hujan ditiap titik pos curah hujan (mm)

$A_1, A_2, ... A_n$  = luas daerah Thiessen yang mewakili titik pos curah hujan (km<sup>2</sup>)

Jika  $A_i/A = p_i$  merupakan persentase luas pada pos  $i$  yang jumlah nya untuk seluruh luas adalah 100%, maka

$$R = \sum p_i \times R_i \quad (2.1a)$$



Gambar 2.2 Poligon Thiessen (Suripin, 2004)

### 2.3. Suhu

Suhu udara dapat disebut sebagai ukuran derajat panas udara. Suhu udara umumnya diukur berdasarkan skala tertentu menggunakan thermometer. Beberapa faktor yang mempengaruhi suhu udara: tinggi tempat, daratan atau lautan, radiasi matahari, sudut datang sinar matahari dan angin (Soewarno, 2000). Data suhu berasal dari suhu rata-rata harian, bulanan dan tahunan. Berikut adalah pengertian masing-masing (Sosrodarsono dan Takeda, 2003):

1. Suhu rata-rata harian, yaitu:
  - a. Dengan menjumlahkan suhu maksimum dan minimum hari tersebut, selanjutnya dibagi 2.
  - b. Dengan mencatat suhu setiap jam pada hari tersebut selanjutnya dibagi 24.
2. Suhu rata-rata bulanan, yaitu dengan menjumlahkan suhu rata-rata harian, selanjutnya dibagi 30.
3. Suhu rata-rata tahunan, yaitu dengan menjumlahkan suhu rata-rata bulanan, selanjutnya dibagi 12.
4. Suhu normal adalah angka rata-rata suhu yang diambil dalam waktu 30 tahun.

Fluktuasi suhu maksimum untuk masing-masing lokasi di wilayah Indonesia sangat kecil. Perbedaan suhu di Indonesia dipengaruhi oleh ketinggian. Setiap kenaikan elevasi 100 meter, suhu maksimum di Indonesia menurun 0,6 °C, sedangkan suhu minimumnya menurun 0,5 °C (Benyamin, 1994). Di Indonesia tidak semua stasiun mempunyai data suhu udara. Untuk mengatasi hal tersebut dapat dilakukan pendugaan suhu udara dari stasiun terdekat dengan mempertimbangkan faktor ketinggian tempat. Pendugaan tersebut menggunakan persamaan:

$\Delta t$	=	$0,006 (z_1 - z_2) ^\circ\text{C}$
------------	---	------------------------------------

(2.2)

Dimana:

$\Delta t$  = perbedaan suhu antara stasiun pengukuran dengan stasiun pengukuran yang dianalisa (°C)

$z_1$  = elevasi stasiun pengukuran suhu (m)

$z_2$  = elevasi stasiun hujan yang dianalisa (m)

#### **2.4. Evapotranspirasi Potensial (ET<sub>p</sub>)**

Evaporasi adalah berubahnya air menjadi uap dan bergerak dari permukaan tanah dan permukaan air ke udara (Sosrodarsono dan Takeda, 2003). Transpirasi merupakan proses keluarnya air dari tanaman akibat proses respirasi dan fotosintesis. Kombinasi dua proses yang saling terpisah dimana kehilangan air dari permukaan tanah melalui proses evaporasi dan kehilangan air dari tanaman melalui proses transpirasi disebut *evapotranspirasi* (Sosrodarsono dan Takeda, 2003).

Faktor meteorologi yang mempengaruhi besarnya evaporasi adalah sebagai berikut (Soemarto, 1999):

a) Radiasi matahari;

Evaporasi merupakan konversi air ke dalam uap air. Proses ini berjalan terus hampir tanpa berhenti di siang hari dan kerap kali juga di malam hari. Perubahan dari keadaan cair menjadi gas ini memerlukan energi berupa panas laten untuk evaporasi. Proses tersebut akan sangat aktif jika ada penyinaran matahari langsung. Awan merupakan penghalang radiasi matahari dan menghambat proses evaporasi.

b) Kecepatan angin;

Jika air menguap ke atmosfer maka lapisan batas antara permukaan tanah dan udara menjadi jenuh oleh uap air sehingga proses penguapan berhenti. Agar proses tersebut dapat berjalan terus, lapisan jenuh harus diganti dengan udara kering. Pergantian itu hanya mungkin kalau ada angin, yang akan menggeser komponen uap air. Jadi, kecepatan angin memegang peranan penting dalam proses evaporasi.

c) Kelembaban relatif;

Faktor lain yang mempengaruhi evaporasi adalah kelembaban relatif udara. Jika kelembaban relatif ini naik, maka kemampuan udara untuk menyerap air akan berkurang sehingga laju evaporasinya menurun.

Penggantian lapisan udara pada batas tanah dan udara dengan udara yang sama kelembaban relatifnya tidak akan menolong dalam memperbesar laju evaporasinya.

d) Suhu (temperatur).

Seperti telah disebutkan di atas, energi sangat diperlukan agar evaporasi berjalan terus. Jika suhu udara dan tanah cukup tinggi, proses evaporasi berjalan lebih cepat dibandingkan dengan jika suhu udara dan tanah rendah dengan adanya energi panas yang tersedia. Kemampuan udara untuk menyerap uap air naik jika suhunya naik. Suhu udara mempunyai efek ganda terhadap besarnya evaporasi dengan mempengaruhi kemampuan udara menyerap uap air dan mempengaruhi suhu tanah yang akan mempercepat penguapan. Sedangkan suhu tanah dan air hanya mempunyai efek tunggal.

Semua jenis tanaman memerlukan air untuk kelangsungan hidupnya. Masing-masing tanaman berbeda-beda kebutuhan airnya. Hanya sebagian kecil air saja yang tertinggal di dalam tubuh tumbuh-tumbuhan, sebagian besar air setelah diserap lewat akar-akar dan dahan-dahan ditranspirasikan lewat daun. Dalam kondisi medan (*field condition*) tidak mungkin membedakan anrta evaporasi dengan transpirasi jika tanahnya tertutup oleh tumbuh-tumbuhan. Kedua proses tersebut evaporasi dan transpirasi, saling berkaitan sehingga dinamakan evaporasitranspirasi (Soemarto, 1999). Untuk mengetahui faktor-faktor yang dianggap berpengaruh terhadap besarnya evapotranspirasi, maka dalam hal ini evapotranspirasi dibedakan menjadi evapotranspirasi potensial dan evapotranspirasi aktual. Evapotranspirasi potensial lebih dipengaruhi oleh faktor-faktor klimatologi. Evapotranspirasi aktual lebih dipengaruhi oleh faktor fisiologi tanaman dan unsur tanaman. Dalam perhitungan evapotranspirasi potensial dapat menggunakan beberapa metode terkait data yang tersedia, diantaranya seperti terlihat pada Tabel 2.2.

Pemakaian rumus yang ada dalam perkiraan besarnya evapotranspirasi potensial (PE) umumnya sangat dipengaruhi oleh ketersediaan data. Pada tesis ini untuk menghitung evapotranspirasi potensial menggunakan metode *Thornthwaite*.



Tabel 2.2. Metode dan Data Pendukung Evapotranspirasi Potensial (ET<sub>o</sub>)

No	Rumus	Data Klimatologi yang diperlukan
<i>Rumus-rumus yang menggunakan data suhu udara rata-rata harian</i>		
1	Lowry - Johnson	Suhu selama masa tanam.
2	Thornthwaite	Suhu.
3	Blaney - Criddle	Suhu, % sinar matahari, koefisien tanaman.
<i>Rumus-rumus yang menggunakan data suhu udara rata-rata harian dan radiasi matahari</i>		
1	Jansen - Haise	Suhu, radiasi matahari.
2	Turc	Suhu, radiasi matahari.
3	Grassi	Suhu, radiasi matahari dan koefisien tanaman.
4	Stephen - Steward	Suhu, radiasi matahari.
No	Rumus	Data Klimatologi yang diperlukan
<i>Rumus-rumus kompleks</i>		
1	Panmann	Suhu, % sinar matahari, kelembaban relatif, koefisien tanaman.
2	Christiansen	Suhu, % sinar matahari, kelembaban relatif, koefisien tanaman.
3	Van Baven	Suhu, tekanan uap jernih, suhu rata-rata harian dan suhu minimum.

Sumber: Soemarto, 1999

#### 2.4.1. Evapotranspirasi Potensial Metode Thornthwaite

Evapotranspirasi potensial adalah nilai yang menggambarkan kebutuhan lingkungan, variasi vegetasi, atau kawasan pertanian untuk melakukan evapotranspirasi. Metode Thornthwaite memanfaatkan suhu udara sebagai indeks ketersediaan energi panas untuk berlangsungnya proses evapotranspirasi. Proses evapotranspirasi tersebut dengan asumsi suhu udara berkorelasi dengan efek radiasi matahari dan unsur lain yang mengandung proses evapotranspirasi

(Wainelista, 1990 dalam Asdak, 2010). *Thornthwaite* mengusulkan metode empiris menghitung evapotranspirasi potensial dari data suhu udara rata-rata bulanan, standar bulan 30 hari dan jam penyinarannya 12 jam. Adapun persamaannya adalah:

ET <sub>ox</sub>	=	16	x	(	$\frac{10 T_m}{I}$	)	a

(2.3)

ET <sub>ox</sub>	=	f	x	ET <sub>ox</sub>

(2.4)

		12				
I	=	$\sum_{m=1}$	(	$\frac{T_m}{5}$	)	1,514

(2.5)

$$a = (6,75 \cdot 10^{-7}) \cdot I^3 - (7,71 \cdot 10^{-5}) \cdot I^2 + (1,792 \cdot 10^{-2}) \cdot I + 0,49239$$

Dimana:

T<sub>m</sub> = suhu udara rata-rata bulanan (°C)

f = koefisien penyesuaian hubungan antara jumlah jam dan hari terang berdasarkan lokasi.

I = indeks panas tahunan.

ET<sub>ox</sub> = evapotranspirasi potensial yang belum disesuaikan faktor f (mm/bulan)

ET<sub>o</sub> = evapotranspirasi potensial (mm/bulan)

Untuk menentukan nilai evapotranspirasi potensial (ET<sub>o</sub>) wilayah, maka perlu dikonversi nilai evapotranspirasi potensial yang ada dengan koefisien penyesuaian menurut garis lintang/bujur. Koefisien penyesuaian menurut bujur dan bulan (f) dapat di lihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Koefisien Penyesuaian Menurut Bujur dan Bulan

B.U./ Bulan	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	1,04	,94	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04
5	1,02	,93	1,03	1,02	1,06	1,03	1,06	1,05	1,01	1,03	,99	1,02
10	1,00	,91	1,03	1,03	1,08	1,06	1,08	1,07	1,02	1,02	,98	,99
15	,97	,91	1,03	1,04	1,11	1,08	1,12	1,08	1,02	1,01	,95	,97
20	,95	,90	1,03	1,05	1,13	1,11	1,14	1,11	1,02	1,00	,93	,94
25	,93	,89	1,03	1,06	1,15	1,14	1,17	1,12	1,02	,99	,91	,91
26	,92	,88	1,03	1,06	1,15	1,15	1,17	1,12	1,02	,99	,91	,91
27	,92	,88	1,03	1,07	1,16	1,15	1,18	1,13	1,02	,99	,90	,90
28	,91	,88	1,03	1,07	1,16	1,16	1,18	1,13	1,02	,98	,90	,90
29	,91	,87	1,03	1,07	1,17	1,16	1,19	1,13	1,03	,98	,90	,89
30	,90	,87	1,03	1,08	1,18	1,17	1,20	1,14	1,03	,98	,89	,88
31	,90	,87	1,03	1,08	1,18	1,18	1,20	1,14	1,03	,98	,89	,88
32	,89	,86	1,03	1,08	1,19	1,19	1,21	1,15	1,03	,98	,88	,87
33	,88	,86	1,03	1,09	1,19	1,20	1,22	1,15	1,03	,97	,88	,86
34	,88	,85	1,03	1,09	1,20	1,20	1,22	1,16	1,03	,97	,87	,86
35	,87	,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	1,03	,97	,86	,85
36	,87	,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	1,03	,97	,86	,84
37	,86	,84	1,03	1,10	1,22	1,23	1,25	1,17	1,03	,97	,85	,83
38	,85	,84	1,03	1,10	1,23	1,24	1,25	1,17	1,04	,96	,84	,83
39	,85	,84	1,03	1,11	1,23	1,24	1,26	1,18	1,04	,96	,84	,82
40	,84	,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	,96	,83	,81
41	,83	,83	1,03	1,11	1,25	1,26	1,27	1,19	1,04	,96	,82	,80
42	,82	,83	1,03	1,12	1,26	1,27	1,28	1,19	1,04	,95	,82	,79
43	,81	,82	1,02	1,12	1,26	1,28	1,29	1,20	1,04	,95	,81	,77
44	,81	,82	1,02	1,13	1,27	1,29	1,30	1,20	1,04	,95	,80	,76
45	,80	,81	1,02	1,13	1,28	1,29	1,31	1,21	1,04	,94	,79	,75
46	,79	,81	1,02	1,13	1,29	1,31	1,32	1,22	1,04	,94	,79	,74
47	,77	,80	1,02	1,14	1,30	1,32	1,33	1,22	1,04	,93	,78	,73
48	,76	,80	1,02	1,14	1,31	1,33	1,34	1,23	1,05	,93	,77	,72
49	,75	,79	1,02	1,14	1,32	1,34	1,35	1,24	1,05	,93	,76	,71
50	,74	,78	1,02	1,15	1,33	1,36	1,37	1,25	1,06	,92	,76	,70
B.S.												
5	1,06	,95	1,04	1,00	1,02	,99	1,02	1,03	1,00	1,05	1,03	1,06
10	1,08	,97	1,05	,99	1,01	,96	1,00	1,01	1,00	1,06	1,05	1,10
15	1,12	,98	1,05	,98	,98	,94	,97	1,00	1,00	1,07	1,07	1,12
20	1,14	1,00	1,05	,97	,96	,91	,95	,99	1,00	1,08	1,09	1,15
25	1,17	1,01	1,05	,96	,94	,88	,93	,98	1,00	1,10	1,11	1,18
30	1,20	1,03	1,06	,95	,92	,85	,90	,96	1,00	1,12	1,14	1,21
35	1,23	1,04	1,06	,94	,89	,82	,87	,94	1,00	1,13	1,17	1,25
40	1,27	1,06	1,07	,93	,86	,78	,84	,92	1,00	1,15	1,20	1,29
42	1,28	1,07	1,07	,92	,85	,76	,82	,92	1,00	1,16	1,22	1,31
44	1,30	1,08	1,07	,92	,83	,74	,81	,91	,99	1,17	1,23	1,33
46	1,32	1,10	1,07	,91	,82	,72	,79	,90	,99	1,17	1,25	1,35
48	1,34	1,11	1,08	,90	,80	,70	,76	,89	,99	1,18	1,27	1,37
50	1,37	1,12	1,08	,89	,77	,67	,74	,88	,99	1,19	1,29	1,41

Sumber: Sosrodarsono dan Takeda, 2003

## 2.5. Permukaan Lahan Terbuka (*Exposed surface*)

Permukaan lahan terbuka ditentukan berdasarkan peta tata guna lahan, atau dapat menggunakan nilai asumsi proporsi permukaan lahan yang tidak tertutup oleh vegetasi (%) (Sudirman, 2002) sebagai berikut:

- m = 0%, untuk lahan dengan hutan lebat (hutan primer, sekunder)
- m = 10 – 30%, untuk lahan tererosi
- m = 30 – 50%, untuk lahan pertanian yang diolah (sawah, dan ladang)

## 2.6. Evapotranspirasi Aktual

Jika dalam evapotranspirasi potensial, air yang tersedia dari yang diperlukan oleh tanaman selama proses transpirasi berlebihan, maka evapotranspirasi aktual, jumlah air tidak berlebih atau terbatas. Evapotranspirasi aktual adalah evapotranspirasi yang terjadi pada kondisi air yang tersedia terbatas. Evapotranspirasi aktual dipengaruhi oleh proporsi permukaan luar yang tidak ditutupi tumbuhan hijau (*expose surface*) pada musim kemarau. Selain *expose surface*, evapotranspirasi aktual juga dipengaruhi oleh jumlah hari hujan (n) dalam bulan yang bersangkutan. Menurut Mock, rasio antara selisih evapotranspirasi aktual dengan evapotranspirasi potensial dipengaruhi oleh *expose surface* dan jumlah hari hujan (n). Formulasinya (Mock, 1973) seperti berikut:

$$\Delta E = E_{To} \frac{m}{20} (18 - n) \quad (2.6)$$

$$E_a = E_{To} - \Delta E \quad (2.7)$$

Dimana:

- E<sub>a</sub> = evapotranspirasi aktual (mm)
- ΔE = perubahan evapotranspirasi (mm)
- E<sub>To</sub> = evapotranspirasi potensial (mm)
- m = proporsi permukaan lahan yang tidak tertutup oleh vegetasi (%)
- n = jumlah hari hujan

## 2.7. Penyimpanan Kelembaban Tanah

Menurut FJ. Mock (1973) dalam studi yang dilakukan di daerah aliran sungai di Bogor, ditetapkan besarnya kapasitas kelembaban tanah (*Soil Moisture Capacity*). Kapasitas kelembaban tanah adalah kapasitas kandungan air pada lapisan tanah permukaan (*surface soil*) per m<sup>2</sup>. Besarnya *soil moisture capacity* (SMC) untuk perhitungan ketersediaan air ini diperkirakan berdasarkan kondisi porositas lapisan permukaan tanah dari daerah pengaliran sungai yaitu berkisar antara 50 – 250 mm. Semakin besar porositas tanah, akan semakin besar pula *soil moisture capacity* yang ada. Keadaan yang menentukan SMC, antara lain:

1.  $SMC = 200 \text{ mm/bulan}$ , jika  $R - Ea > 0$

Tampungan kelembaban tanah sudah mencapai kapasitas maksimumnya atau terlampaui sehingga air tidak disimpan dalam tanah lembab. Bearti *soil storage* (SS) = 0 dan besarnya *water surplus* (WS) =  $R - Ea$ .

2.  $SMC = SMC \text{ bulan sebelumnya} + (R - Ea)$ , jika  $R - Ea < 0$

Tampungan tanah lembab belum mencapai kapasitas maksimum, sehingga ada air yang disimpan dalam tanah lembab. Besarnya penyimpanan kelembaban tanah (SMC) adalah: (Mock, F.J dalam Sidharno, 2013)

SMC	=	ISM	+	R	-	Ea
-----	---	-----	---	---	---	----

(2.8)

Dimana:

SMC = penyimpanan kelembaban tanah (mm)

ISM = kelembaban tanah awal (mm)

R = curah hujan areal (mm)

Ea = evapotranspirasi aktual (mm)

- Air hujan yang mencapai permukaan tanah dapat dirumuskan sebagai berikut:

$Ds = R - Ea$

Dimana:

Ds = air hujan mencapai permukaan tanah (mm)

R = curah hujan areal (mm)

Ea = evapotranspirasi aktual (mm)

- Kandungan air tanah

Besaran kandungan air tanah tergantung dari harga air hujan ( $D_s$ ), bila harga  $D_s$  negative, maka kapasitas kelembaban tanah akan berkurang dan bila  $D_s$  positif maka kelembaban tanah akan bertambah.

## 2.8. Kelebihan air (*Water Surplus*)

Kelebihan air adalah air hujan (*presipitasi*) yang telah mengalami evapotranspirasi dan mengisi tampungan tanah (*soil storage*). Water surplus berpengaruh langsung pada infiltrasi atau perkolasi dan total *run off*, yang merupakan komponen debit. Persamaan *water surplus* (WS) sebagai berikut:

$$WS = (R - Ea) - SS \quad (2.9)$$

Dengan:

WS = volume air yang akan masuk ke permukaan tanah. Akan terjadi surplus jika  $(R - Ea) - SS > 0$  dan defisit air jika  $(R - Ea) - SS < 0$

Dimana:

SS = perubahan volume air yang ditahan oleh tanah yang besarnya tergantung pada  $(R - Ea)$ , soil storage bulan sebelumnya (mm).

$R - Ea$  = hujan yang telah mengalami evapotranspirasi (mm)

Selanjutnya WS (*water surplus*) ini akan mengalami infiltrasi dan melimpas di permukaan tanah (*run-off*). Besarnya infiltrasi ini tergantung pada koefisien infiltrasi.

## 2.9. Infiltrasi

Besarnya infiltrasi adalah *water surplus* (WS) dikalikan koefisien *infiltrasi* (if) (Mock, 1973).

$$I = WS \times if \quad (2.10)$$

Koefisien infiltrasi sangat dipengaruhi oleh kondisi porositas maupun kemiringan daerah pengaliran. Nilai koefisien infiltrasi berkisar antara 0,20 – 0,50. Besarnya koefisien tersebut sangat tergantung dari kondisi alam, yaitu: jenis tanah, kemiringan muka tanah dan jenis tutupan lahan atau tata guna lahan.

Nilai koefisien infiltrasi rendah jika kondisi alamnya sebagai berikut:



- Jenis tanah pada permukaan (*top soil*) merupakan tanah berat (*heavy soil*) atau merupakan jenis batuan padat.
- Kemiringan permukaan tanah terjal.
- Kondisi tutupan lahan terbuka/gundul.

Nilai koefisien infiltrasi tinggi jika kondisi alamnya sebagai berikut:

- Jenis tanah pada permukaan (*top soil*) merupakan tanah ringan (*light soil*) atau merupakan jenis batuan lepas.
- Kemiringan permukaan tanah relatif landai/datar.
- Kondisi tutupan lahan tertutup vegetasi.

Infiltrasi terus terjadi sampai mencapai zona tampungan air tanah (simpanan air tanah/*groundwater storage/GS*). Besarnya GS dipengaruhi oleh:

1. Infiltrasi (if). Semakin besar infiltrasi maka groundwater storage semakin besar pula, dan begitu pula sebaliknya.
2. Konstanta resesi aliran bulanan (RC). Konstanta resesi aliran bulanan (*monthly flow recession consta*) adalah proporsi dari air tanah bulan lalu yang masih ada bulan sekarang. Nilai RC ini cenderung lebih besar pada bulan basah. Berdasarkan metode Mock besaran nilai RC antara 0 – 1.
3. Tampungan air permulaan GS (n-1). Nilai ini diasumsikan sebagai konstanta awal, dengan anggapan bahwa *water balance* merupakan siklus tertutup yang ditinjau selama rentang waktu menerus tahunan tertentu. Dengan demikian maka nilai asumsi awal bulan pertama tahun pertama harus dibuat sama dengan nilai bulan terakhir tahun terakhir. Nilai tampungan air permulaan didasarkan faktor kelengasan tanah. Lengas tanah dalam hidrologi merupakan suatu reservoir penyimpanan yang naik turun secara cepat dari mana air diserap oleh akar-akar tanaman untuk transpirasi, dan oleh evaporasi dari permukaan (Lee, 1980). Nilai kelengasan tanah dari bermacam kelas tekstur tanah, dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Lengas Tanah (milimeter per meter tanah)

Kelas Tekstur	Kapasitas lapangan	Titik Layu	Air Tersedia
Pasir	100	25	75
Pasir halus	116	33	83
Lempung berpasir	158	50	108
Lempung halus berpasir	217	67	150
Lempung	267	100	167
Lempung berdebu	283	116	167
Lempung ringan liat	300	133	167
Lempung berliat	317	150	167
Lempung liat berat	325	175	150
Liat	325	208	117

Sumber: Lee Richard, 1980

## 2.10. Penyimpanan Air Tanah (Ground Water Storage)

Berdasarkan faktor-faktor seperti infiltrasi ( $i$ ), konstanta resesi aliran bulanan ( $RC$ ) maupun tampungan air permulaan  $GS$  ( $n-1$ ), maka metode Mock merumuskan besaran penyimpanan air tanah pada akhir bulan sebagai berikut:

$$GS_n = \left[ 0,5 \times (1 + RC) \times i \right] + \left[ RC \times GS_{(n-1)} \right] \quad (2.11)$$

Dimana:

$GS_n$  = penyimpanan air tanah pada akhir bulan (mm)

$GS_{(n-1)}$  = penyimpanan air tanah pada awal bulan (mm)

$RC$  = koefisien resesi limpasan

Metode Mock adalah metode untuk memprediksi debit yang didasarkan pada neraca air. Oleh sebab itu, bataran-batasan *water balance* ini harus dipenuhi. Salah satunya adalah perubahan penyimpanan air tanah ( $\Delta GS_n$ ) selama rentang waktu tahunan tertentu adalah 0, atau misalnya untuk 1 tahun:

$$\sum_{i=\text{bulan ke-1}}^{\text{bulan ke-12}} \Delta GS_n = 0 \quad (2.12)$$

Besaran  $\Delta GS_n$  adalah selisih antara volume penyimpanan air tanah ( $GS_n$ ) dengan tampungan air permulaan  $GS_{(n-1)}$ .

Dimana:

$$\Delta GS_n = GS_n - GS_{(n-1)} \quad (2.13)$$

$\Delta GS_n$  = perubahan penyimpanan air tanah (mm)

$GS_n$  = penyimpanan air tanah pada akhir bulan (mm)

$GS_{(n-1)}$  = penyimpanan air tanah pada awal bulan (mm)

Perubahan penyimpanan air tanah ini penting bagi terbentuknya aliran dasar sungai (*base flow*/BF).

### 2.11. Limpasan Dasar (*base flow*)

Dalam hal ini limpasan dasar (BF) merupakan selisih antara infiltrasi (I) dengan perubahan  $\Delta GS_n$ , seperti persamaan berikut ini:

$$BF = I - \Delta GS_n \quad (2.14)$$

Dimana:

BF = limpasan dasar (mm/bulan)

I = infiltrasi (mm)

$\Delta GS_n$  = perubahan penyiapan air tanah (mm)

### 2.12. Limpasan Langsung (*direct run off*)

Selain BF, komponen debit yang lain adalah limpasan langsung (*direct run off*) (DR) atau limpasan permukaan (*surface run off*). Limpasan permukaan berasal dari kelebihan air (*water surplus*) yang telah mengalami infiltrasi. Jadi DR dihitung dengan persamaan:

$$DR = WS - (1 - if) \quad (2.15)$$

Dimana:

DR = limpasan langsung / permukaan (mm/bulan)

WS = kelebihan air (mm)

if = koefisien infiltrasi

### 2.13. Total Limpasan

Nilai total limpasan yang menjadi aliran sungai ( $Q_{tot}$ ) dapat diketahui dengan menjumlahkan nilai dari limpasan dasar (BF) dan limpasan langsung (DR) dan limpasan hujan yang merupakan komponen pembentuk debit sungai (*stream flow*), atau dapat dirumuskan:

$$Q_{tot} = BF + DR \quad (2.16)$$

Dimana :

BF = limpasan dasar (mm/bulan)

DR = limpasan langsung (mm/bulan)

Nilai  $Q_{tot}$  dinyatakan dalam mm/bulan, maka jika  $Q_{tot}$  dikalikan dengan luas daerah tangkapan dengan luas daerah tangkapan air dalam  $km^2$ , dengan suatu angka konversi tertentu didapatkan besaran debit dalam  $m^3/dt$ .

Nilai parameter model yang terkait dengan karakteristik hidrologi DAS (Mock, 1973) disarankan seperti terlihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Nilai Parameter Model FJ. Mock

Parameter	Nilai
Faktor $m$	0% - 50%
SMC	200 mm
PF	0,05 - 0,10
RC	0,60
IF	0,40

Sumber: Mock, 1973

### 2.14. Ketersediaan Air (Air Permukaan)

Dalam menganalisa ketersediaan air perlu diperhitungkan komponen-komponen yang mempengaruhinya, dimana komponen-komponen tersebut meliputi komponen air permukaan dan sumber air. Karena keterbatasan data, maka dalam penelitian ini komponen air yang digunakan hanya air permukaan. Untuk menganalisa ketersediaan air permukaan akan digunakan sebagai acuan adalah debit andalan (*dependable flow*). Debit andalan adalah suatu besaran debit gabungan antara limpasan langsung dan aliran dasar. Debit ini mencerminkan

suatu angka yang dapat diharapkan terjadi pada titik kontrol yang dikaitkan dengan waktu dan nilai keandalan.

Untuk mendapatkan nilai ketersediaan, maka perlu dianalisa lebih dalam melalui debit andalan atau ketersediaan debit yang merupakan debit benar-benar dapat diandalkan ada pada suatu sungai, baik pada musim kering atau musim penghujan. Beberapa metode dapat dilakukan untuk mengetahui debit andalan ini seperti metode Mock, pengukuran langsung dan dengan memasang alat pengukuran debit *Automatic Water Level Record (AWLR)*. Metode Mock menganggap bahwa hujan yang jatuh pada *catchment area* akan hilang sebagai evapotranspirasi, sebagian akan langsung menjadi *direct run off* dan sebagian lagi akan masuk ke dalam tanah (*infiltrasi*).

Infiltrasi ini pertama-tama akan menjatuhkan *top-soil* dulu baru kemudian menjadi perkolasi ke tampungan air tanah yang nantinya akan keluar ke sungai sebagai *base flow*, dalam hal ini harus ada keseimbangan antara hujan yang jatuh dengan evapotranspirasi, *direct run off* dan infiltrasi sebagai *soil moisture* dan *ground water discharge*. Metode ini didasarkan pada parameter data hujan, evapotranspirasi, dan karakteristik DAS setempat. Perhitungan debit efektif dihitung dengan persamaan:

$Q_{\text{efektif}}$	=	$Q_{\text{tot}}$	$\times$	$A$	$\times$	$1000$
		$n$	$\times$	$24 \text{ jam/}$ $\text{hari}$	$\times$	$3600$ $\text{dt/ jam}$

(2.18)

Dimana:

$Q_{\text{efektif}}$  = debit efektif ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )

$Q_{\text{tot}}$  = total limpasan aliran sungai ( $\text{mm}/\text{bulan}$ )

$A$  = luas cactment area ( $\text{km}^2$ )

$n$  = jumlah hari hujan (hari)

## 2.15. Kebutuhan Air

Besaran kebutuhan air antara suatu daerah dengan daerah lain akan berbeda, hal ini sangat dipengaruhi oleh iklim, lingkungan hidup, penduduk dan faktor-faktor lainnya. Penggunaan air juga berubah dari musim ke musim, hari ke

hari dan jam ke jam (Linsley et al., 1996), dengan demikian dalam analisa kebutuhan air akan diperhitungkan kemungkinan penggunaan air. Kebutuhan air domestik dihitung berdasarkan jumlah penduduk dan standar kebutuhan air di wilayah administratif yang akan dilayani.

Untuk mengetahui kebutuhan air, maka diperlukan proyeksi pertumbuhan penduduk untuk masa yang akan datang. Dalam tesis ini digunakan metode berganda (geometrik) dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_n = P_o (1 + r)^{dt} \quad (2.19)$$

$$r = \left( \frac{p_o}{p_t} \right)^{1/n} - 1 \quad (2.20)$$

Dimana:

$P_n$  = populasi pada tahun ke-n (proyeksi penduduk)

$P_o$  = populasi saat ini

$r$  = rata-rata pertumbuhan penduduk pertahun

$p_o$  = populasi saat ini

$p_t$  = populasi tahun dasar (tahun awal data yang diambil)

$n$  = jumlah data yang diambil

$dt$  = kurun waktu proyeksi

Dengan adanya jumlah penduduk maka diproyeksikan jumlah kebutuhan air di masa mendatang, berdasarkan jumlah penduduk dan jumlah kebutuhan (L/org/hari).

### 2.15.1. Kebutuhan Air Non Irigasi

Kebutuhan air non irigasi meliputi kebutuhan air domestik, perkantoran, fasilitas kesehatan, hotel/penginapan, sekolah/pendidikan, tempat peribadatan, peternakan, industri, hidran, dll.

#### a. Kebutuhan Air Domestik

Kebutuhan air penduduk/domestik dihitung berdasarkan jumlah penduduk yang ada di daerah tersebut. Untuk menentukan kebutuhan air domestik digunakan rumus berikut:

$Q_{\text{domestik}}$	=	$P_t$	x	$U_n$	
-----------------------	---	-------	---	-------	--

(2.21)

Dimana:

$Q_{\text{domestik}}$  = jumlah kebutuhan air penduduk (L/jiwa/detik)

$P_t$  = jumlah penduduk pada tahun yang bersangkutan (jiwa)

$U_n$  = nilai kebutuhan air perkapita per hari (L/jiwa/hari)

Kebutuhan air domestik di Kabupaten Malang disadarkan pada laporan dari PDAM tahun 2015 sebesar 94,87 ltr/jiwa/hari.

#### **b. Kebutuhan Air Perkantoran**

Kebutuhan air bersih untuk kator ditetapkan 10 liter/pegawai/hari (Ditjen Cipta Karya, 2000 dalam Triatmojo, 2014)

#### **c. Kebutuhan Air Fasilitas Kesehatan**

Kebutuhan air untuk fasilitas kesehatan dihitung berdasarkan jumlah tempat tidur yaitu sebesar 200 liter/tempat tidur/hari (Ditjen Cipta Karya, 2000 dalam Triatmojo, 2014)

#### **d. Kebutuhan Air Pendidikan/Sekolah**

Menurut Direktorat Teknik Penyehatan, Dirjen Cipta Karya, Kementerian Pekerjaan Umum, kebutuhan air bersih untuk siswa sekolah sebesar 25 liter/siswa/hari (Ditjen Cipta Karya, 2000 dalam Triatmojo, 2014).

#### **e. Kebutuhan Air Peribadatan**

Kebutuhan air untuk peribadatan dihitung berdasarkan luas bangunan ibadah (m<sup>2</sup>). Satuan pemakaian air bersih sebesar 3000 liter/unit/hari (Departemen Permukiman Prasarana Wilayah, 2001).

#### **f. Kebutuhan Air Peternakan**

Kebutuhan air untuk ternak dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6. Kebutuhan Air untuk Ternak

Jenis Ternak	Kebutuhan Air
	(lt/ka/hr)
Sapi/kerbau/kuda	40
Kambing/domba	5
Babi	6
Unggas	0,6

Sumber: Nippon Koei C.,Ltd, 1993 dalam Triatmodjo, 2008)

Kebutuhan air untuk ternak diestimasikan dengan cara mengalikan jumlah ternak dengan tingkat kebutuhan air berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$Q_t = \frac{365}{1000} \times [ (q_a \times P_a) + (q_b \times P_b) + (q_c \times P_c) + (q_d \times P_d) ] \quad (2.22)$$

Dimana:

$Q_t$  = kebutuhan air untuk ternak ( $m^3/th$ )

$q_a$  = kebutuhan air untuk sapi/kerbau/kuda (liter/ekor/hari)

$q_b$  = kebutuhan air untuk kambing/domba (liter/ekor/hari)

$q_c$  = kebutuhan air untuk babi (liter/ekor/hari)

$q_d$  = kebutuhan air untuk unggas (liter/ekor/hari)

$P_a$  = jumlah sapi/kerbau/kuda (ekor)

$P_b$  = jumlah kambing/domba (ekor)

$P_c$  = jumlah babi (ekor)

$P_d$  = jumlah unggas (ekor)

#### g. Kebutuhan Air Industri

Standar kebutuhan air industri sebesar 10% dari konsumsi air domestik (Direktorat Teknik Penyehatan, Dirjen Cipta Karya, Kementerian Pekerjaan Umum).

#### h. Kebutuhan Air Lain-lain

Kebutuhan air untuk lain-lain meliputi kebutuhan air untuk mengatasi kebakaran, taman dan penghijauan, serta kehilangan atau kebocoran air.



Kebutuhan air diambil 45% dari kebutuhan air total domestik (Ditjen Cipta Karya, 2000).

## **2.16. Konservasi Sumber Daya Air**

Usaha konservasi sumber daya air diperlukan dalam rangka upaya untuk menjaga dan melestarikan keberadaan air pada suatu daerah aliran sungai. Usaha konservasi tersebut dapat menggunakan 2 metode yaitu: metode vegetasi dan mekanis.

### **2.16.1. Metode Vegetasi**

Metode vegetasi adalah penggunaan tanaman atau tumbuhan untuk mengurangi daya merusak hujan yang jatuh, mengurangi jumlah dan daya rusak aliran permukaan dan erosi.

Dalam konservasi dengan metode vegetasi diperoleh beberapa fungsi antara lain (Arsyad, 1989):

1. Melindungi tanah terhadap daya perusak butir-butir hujan yang turun;
2. Melindungi tanah terhadap daya perusak aliran air di atas permukaan tanah;
3. Memperbaiki kapasitas infiltrasi tanah dan penahan air yang langsung mempengaruhi besarnya aliran permukaan.

Dalam analisa konservasi vegetasi, faktor simpanan lengas tanah (*soil water storage*) atau disingkat SWS sangat mempengaruhi dalam ketersediaan air dalam tanah. Simpanan lengas tanah adalah jumlah total air yang tersimpan pada perakaran tanaman. Tekstur dan struktur tanah, serta kedalaman perakaran tanaman, berarti semakin banyak air yang dapat disimpan dalam tanah dan semakin besar pula cadangan air tersedia bagi tanaman selama periode tertentu.

Untuk menentukan beberapa besar SWS, maka perlu diketahui:

- a. Kedalaman efektif perakaran tanaman (*rooting depth*) seperti yang dijelaskan pada Tabel 2.7.
- b. Kapasitas simpanan air tersedia

Kapasitas simpanan air tersedia (*Available Water Storage Capacities*) seperti yang dijelaskan pada Tabel 2.8.

Tabel 2.7. Kedalaman Efektif Perakaran Tanaman Dewasa

Shallow 0,45 m (1,5 feet)	Medium Shallow 0,60 m (2 feet)	Medium Deep 0,90 m (3 feet)	Deep 1,20 m (4 feet)
Kubis	Kacang polong	Jagung	Asparagus
Bunga Kol	Bit	Terong	Blackberry
Mentimun	Bluberi	Buah Kiwi	Anggur
Selada	Brokoli	Paprika	Loganberries
Bawang	Wortel	Labu	Raspberi
Lobak	Seledri		Tebu
	Kentang		
	Kacang-kacangan		
	Strawberi		
	Tomat		
	Pohon Buah	Pohon Buah	Pohon Buah
	spacing (1x3)m	spacing (2x4)m	spacing (4x6)m

Sumber: Ministry of Agliculture, Food and Fisheries British Columbia, 2002

Tabel 2.8. Kapasitas Simpanan Air Tersedia

Tekstur Tanah	Kapasitas Simpanan Air Tersedia (AWSC)		
	(in.water/in.soil)	(in.water/ft.soil)	(mm water/m soil)
Tanah liat	0,21	2,5	200
Lempung liat	0,21	2,5	200
Lumpur lempung	0,21	2,5	208
lempung liat	0,20	2,4	200
Lempung liat	0,18	2,1	175
Lempung berpasir baik	0,14	1,7	142
Lempung berpasir	0,12	1,5	125
Pasir liat	0,10	1,2	100
Pasir	0,08	1,0	83

Sumber: Ministry of Agliculture, Food and Fisheries British Columbia, 2002

Dalam menentukan besarnya nilai simpanan lengas tanah (*soil water storage*) dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$SWS = RD \times AWSC \quad (2.23)$$

Dimana:

SWS = simpanan lengas tanah (mm)

RD = kedalaman efektif perakaran tanaman dalam (m)

AWSC = kapasitas simpanan air tersedia (mm/m)

c. Luas lahan yang dibutuhkan

Perhitungan penyediaan luasan lahan yang seharusnya dibutuhkan sebagai lahan konservasi vegetasi, sehingga dapat menyimpan cadangan air tanah (PermenPU No.05, 2008):

$$La = da / (SWS_{tot} \times Tda) \quad (2.24)$$

Dimana:

La = luas lahan yang dibutuhkan (ha)

da = defisit air (m<sup>3</sup>)

SWS<sub>tot</sub> = total simpanan lengas tanah (m)

Tda = lama bulan defisit air

Beberapa jenis tanaman (vegetasi) yang memiliki nilai ekonomi dan juga berperan dalam upaya konservasi sumber daya air, antara lain:

1) Pohon Gaharu

Gaharu adalah kayu berwarna kehitaman dan mengandung resin khas yang dihasilkan oleh sejumlah spesies pohon dari marga *Aquilaria*, terutama *Aquilaria Malaccensis* (Gambar 2.3). Resin ini digunakan dalam industri wangi-wangian (parfum dan dupa) karena berbau harum. Gaharu sejak era modern telah menjadi komoditi perdagangan dari Kepulauan Nusantara ke India, Persia, Jazira Arab serta Afrika Timur. Di Indonesia terdapat 16 (enam belas) jenis pohon yang dapat menghasilkan gaharu, diantaranya 6 (enam) jenis tumbuh di wilayah Maluku (Sumarna, 2002 dalam Manuhuwa, 2009). Diantara 6 (enam) jenis pohon tersebut, terdapat 3 (tiga) jenis yang berkualitas baik antara lain: *Aquilaria malaccensis*, *Aquilaria filarial* dan *Aetoxylon sympethallum*. Gaharu terbentuk pada jaringan kayu pohon penghasil dengan mekanisme dan proses biologis sebagai akibat adanya perlukaan alami pada batang atau cabang. Bagian pohon yang mengalami perlukaan tersebut kemudian terinfeksi oleh mikroba yang menimbulkan adanya penyakit. Tanaman akan melakukan pertahanan dari gangguan penyakit dengan membentuk antibodi. Pada kondisi tanaman yang mampu melindungi diri dari gangguan penyakit, maka pohon tidak akan

menghasilkan gaharu. Pohon yang lemah terhadap serangan penyakit, maka hara dari jaringan sel-sel kayu akan diubah menjadi senyawa fitoaleksin. Senyawa tersebut yang berupa resin gaharu berwarna coklat gelap (kehitaman) dan beraroma harum.

Gaharu banyak diperdagangkan dengan harga jual yang sangat tinggi terutama untuk gaharu dari tanaman famili *Thameleaceae* dengan jenis *Aqualira*. Kualitas gaharu ditentukan dari jenis tanaman penghasilnya dan banyaknya kandungan resin dalam jaringan kayunya. Semakin tinggi kandungan resin di dalamnya maka harga gaharu tersebut semakin mahal dan begitu pula sebaliknya. Secara umum perdagangan gaharu digolongkan menjadi tiga kelas besar, yaitu gubal, kemedangan dan abu. Gubal merupakan kayu berwarna hitam atau hitam kecoklatan dan diperoleh dari bagian pohon penghasil gaharu yang memiliki kandungan damar wangi beraroma kuat. Kemendangan adalah kayu gaharu dengan kandungan damar wangi dan aroma yang lemah serta memiliki penampakan fisik berwarna kecoklatan sampai abu-abu, memiliki serat kasar dan kayu lunak. Kelas terakhir adalah abu gaharu yang merupakan serbuk atau sisa penghancuran kayu gaharu. Gaharu memiliki potensi yang besar dan pasarannya sangat mudah. Harga satu kilogram hasil panen gaharu mulai Rp. 5 juta sampai Rp. 30 juta, tergantung kualitasnya. Hanya saja masa panennya cukup lama yakni 9 (sembilan) tahun (<http://petanigaharu.blogspot.com>, 2013).

Selain sebagai komoditas ekonomi potensial, menurut Lembaga Ilmu Pengertahuan Indonesia (LIPI) kayu gaharu merupakan tanaman prioritas sebagai acuan konservasi. Pohon Gaharu memiliki daya simpanan air yang cukup tinggi. Persyaratan dalam pengembangan tanaman gaharu agar diperoleh hasil maksimal diantaranya (Sumarna, 2003):

- a. Topografi
  - Ketinggian 0-2400 m dpl
- b. Keadaan iklim
  - Kelembaban antara 60-80%
  - Suhu antara 28°C-34°C
  - Curah hujan 1000-2000 mm/tahun

c. Keadaan tanah

- Tumbuh pada tekstur tanah subur, sedang maupun ekstrim
- Tekstur tanah lempung dan liat berpasir

d. Kondisi lingkungan

- Kayu gaharu dapat tumbuh pada hutan rawa, hutan gambut, hutan daratan rendah dan hutan pegunungan.
- Mampu beradaptasi pada kemiringan lereng antara 8%-140% (Crow, 2005)



Gambar 2.3. Kayu Gaharu

(<http://petanigaharu.blogspot.com>, 2013)

2) Bambu

Tanaman bambu mudah ditanam serta memiliki pertumbuhan yang sangat cepat, tidak membutuhkan perawatan khusus dan dapat pada semua jenis tanah. Sistem perakaran bambu adalah perakaran serabut dengan akar ramping yang sangat kuat (perakaran dalam), meskipun berakar serabut tetapi kuat terhadap hempasan angin kencang. Perakarannya tumbuh sangat rapat dan menyebar ke segala arah, serta memiliki struktur yang unik karena terkait secara horizontal dan vertikal, sehingga tidak mudah putus dan mampu berdiri kokoh untuk menahan erosi dan tanah longsor di sekitarnya, disamping itu lahan di bawahnya menjadi sangat stabil dan mudah meresapkan air.

Bambu memiliki kemampuan menyerap air hingga 90% jika dibandingkan pepohonan yang rata-rata menyerap 35% sampai 40% air (Prabowo, 1994). Bambu yang mampu memperbaiki sumber tangkapan air yang sangat baik, sehingga dapat meningkatkan *water storage* (cadangan air tanah), maka bambu digunakan sebagai tanaman konservasi. Pertumbuhan bambu yang sangat cepat pada umur 3-5 tahun dapat di panen. Bambu juga memiliki kemampuan peredam suara yang baik dan menghasilkan banyak oksigen sehingga dapat di tanam di daerah permukiman maupun dipinggir jalan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar Kementerian Pertanian, bahwa perkembangan bambu dapat beradaptasi pada beberapa hal diantaranya:

- a. Topografi
  - Ketinggian 0-1500 m dpl
- b. Keadaan iklim
  - Kelembaban  $\pm 80\%$ , namun bisa bertahan pada kelembaban yang rendah
  - Suhu antara  $15^{\circ}\text{C}$ - $41^{\circ}\text{C}$
  - Curah hujan 1000-3000 mm/tahun
- c. Keadaan tanah
  - Dapat tumbuh pada semua jenis tanah terutama pada tekstur berpasir sampai berlempung
  - Berdrainase baik
  - pH tanah antara 5,6-6,5
- d. Kondisi lingkungan
  - Mampu beradaptasi pada kemiringan lereng antara 0%-55%

#### **2.16.2. Metode Mekanis (Pemanen Air Hujan)**

Pemanfaatan air hujan adalah serangkaian kegiatan mengumpulkan, menggunakan dan/atau meresapkan air hujan ke dalam tanah. Kolam pengumpul air hujan adalah kolam atau wadah yang digunakan untuk menampung air hujan. Metode pemanen air hujan memiliki prinsip konservasi air yaitu memanfaatkan

air hujan yang jatuh ke tanah se-efisien mungkin, mengendalikan kelebihan air di musim hujan dan menyediakan air yang cukup di musim kemarau.

Konsep pemanen air hujan memiliki fungsi:

- a. Memperlambat aliran permukaan;
- b. Menampung dan mengalirkan aliran permukaan sehingga tidak merusak;
- c. Memperbesar kapasitas infiltrasi air kedalam tanah dan memperbaiki aerasi tanah.
- d. Menyediakan air bagi tanaman.

Dalam implementasinya terhadap pemenuhan kebutuhan air digunakan teknik pemanen air hujan dengan 2 (dua) cara, yaitu atap bangunan (*roof top rain water harvesting*) dan pembuatan embung.

### **1. Pemanen Air Hujan Melalui Atap**

Prinsip pemanen air hujan sesuai dengan namanya yaitu memanfaatkan atap bangunan sebagai daerah tangkapan air (*catchment area*) dimana air hujan yang jatuh diatas atap kemudian disalurkan melalui talang untuk selanjutnya dikumpulkan dan ditampung ke dalam tangki atau bak penampungan air hujan (*reservoir*) (Gambar 2.7). Jika terjadi kelebihan air pada bak penampung, maka air tersebut dialirkan ke sumur resapan dengan tujuan agar air dapat meresap ketanah sehingga tersimpan cadangan air (Gambar 2.8). Teknik pemanen air hujan ini umumnya dilakukan untuk daerah permukiman. Menurut Heryani, 2009 dalam tulisannya yang berjudul *Salah Satu Alternatif Untuk Memenuhi Kebutuhan Air Domestik* dijelaskan bahwa untuk mengetahui besarnya potensi air yang diperoleh dari suatu bangunan atap dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q = A \times P \times C \quad (2.25)$$

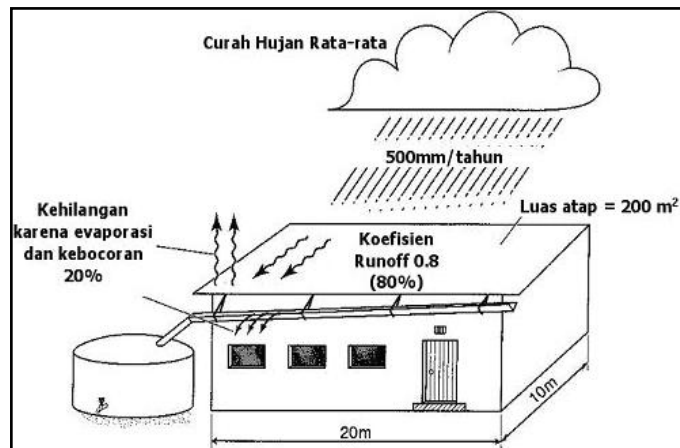
Dimana:

Q = volume air yang tertampung (m<sup>3</sup>)

A = luas area tangkapan (m<sup>2</sup>)

P = curah hujan (mm).

C = koefisien run off (diasumsikan sebesar 80% air hujan yang dapat ditampung)



Gambar 2.4 Ilustrasi bangunan PAH dan atap rumah (Asdak, 2007)

## 2. Pemanen Air Hujan Dengan Embung

Perubahan tata guna lahan yang tidak terkendali telah menyebabkan meningkatnya koefisien limpasan (*runoff*). Menyebabkan air hujan yang melimpah di musim penghujan tidak dapat meresap kedalam tanah dan langsung mengalir ke sungai dan terbuang ke laut. Salah satu cara yang sederhana adalah dengan pembuatan embung sebagai langkah konservasi air sekaligus menahan laju erosi. Pembuatan embung merupakan solusi terbaik yang murah dan efisien.

Air yang tertampung di dalam embung digunakan sebagai air baku atau untuk keperluan pertanian di musim kemarau. Pembuatan embung tidak terlalu sulit untuk dilaksanakan, namun harus memenuhi kriteria, misalnya jenis tanah, kemiringan, tipe curah hujan, ukuran dan luas daerah tangkapan hujan. Filosofi pembuatan embung yaitu pembuatan embung secara ekologi-hidrolik haruslah berorientasi pada embung alami. Embung yang alami memenuhi kondisi ekologi-hidrolik dan dilingkari oleh pohon dan vegetasi yang secara umum dibedakan menjadi tiga ring. Ring pertama pada umumnya ditumbuhi pohon-pohon besar yang biasa ada di daerah yang bersangkutan. Ring kedua dipenuhi dengan pepohonan yang lebih kecil yang relatif kurang rapat dibanding ring pertama. Ring ketiga atau ring luar berbatasan dengan daerah luar embung, dengan tingkat kerapatan tanaman yang lebih jarang. Jika kondisi ini maka akan mempengaruhi umur dari embung itu sendiri. Gambar embung dapat dilihat pada Gambar 2.8. Untuk menghitung volume tampungan yang diperlukan berdasarkan kebutuhan air ( $V_n$ ) adalah: (Departemen Pekerjaan Umum, 1994)



$$V_n = V_u + V_e + V_i + V_s \quad (2.26)$$

$$V_i = K \times V_u \quad (2.27)$$

$$V_s = 0,05 \times V_u \quad (2.28)$$

Dimana:

$V_n$  = volume tampungan berdasarkan kebutuhan air ( $m^3$ )

$V_u$  = volume tampungan hidup untuk melayani berbagai kebutuhan air ( $m^3$ )

$V_e$  = jumlah penguapan dari kolam selama musim kemarau ( $m^3$ )

$V_i$  = jumlah resapan melalui dasar dinding dan tubuh embung selama musim kemarau ( $m^3$ )

$V_s$  = ruangan yang disediakan untuk sedimen ( $m^3$ )

$K$  = faktor yang nilainya tergantung dari sifat lolos air material dasar dan dinding kolam embung, nilai  $K=10\%$  bila dasar dan dinding kolam embung rapat air ( $k < 10^{-5}$  cm/dt); nilai  $K= 25\%$  bila dasar dan dinding kolam embung semi lolos air ( $k = 10^{-3}$  sampai  $10^{-4}$  cm/dt).



Gambar 2.5 Embung (BBWS Brantas, 2013)

## 2.17. Aspek Finansial

Aspek finansial yang ditinjau adalah biaya modal/investasi; perhitungan manfaat yang identik dengan kerugian kekeringan yang timbul bila tidak dilakukan sesuatu; perhitungan kerugian dan keuntungan. Parameter yang digunakan yaitu metode NPV dan BCR. Tujuan analisa ini, adalah untuk menilai

upaya konservasi tersebut layak untuk dilakukan atau tidak. Karena keterbatasan data, maka untuk melakukan analisis finansial diperlukan asumsi-asumsi. Asumsi-asumsi yang digunakan dalam penelitian antara lain: biaya konstruksi, biaya O&P, tingkat inflasi rata-rata pertahun, dan nilai suku bunga bank pinjaman proyek pemerintah. Biaya konstruksi berdasarkan studi pembangunan Embung Kukur-kukur Kabupaten Kediri pada tahun 2012 dengan kapasitas tampungan 76.122 m<sup>3</sup>, biaya konstruksinya Rp.6.355.940.000,-. Biaya O&P ditetapkan sebesar 2% dari biaya konstruksi. Tingkat inflasi rata-rata Tahun 2015 sebesar 3,4% (Bank Indonesia, 2015). Nilai suku bunga bank pinjaman sebesar 11-13% (Bank Indonesia, 2016). Aspek finansial yang ditinjau adalah biaya yang dibutuhkan dan menghitung NPV dan BCR.

### 1. *Net Present Value (NPV)*

NPV atau disebut sebagai Nilai Kekayaan Bersih Sekarang, metode ini menghitung selisih antara nilai sekarang (PV) dengan nilai penerimaan-penerimaan kas bersih (operasional dan internal cash flow) di masa yang akan datang, untuk menghitung nilai sekarang tersebut perlu ditentukan terlebih dahulu tingkat bunga yang dianggap relevan. Apabila nilai sekarang penerimaan-penerimaan kas bersih yang akan datang lebih besar daripada nilai sekarang investasi, maka proyek dikatakan menguntungkan, sedang bila lebih kecil berarti proyek dinilai tidak menguntungkan untuk diteruskan.

Rumus

NPV adalah:

$$NPV = -I + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (2.29)$$

Dimana :

NPV	= Nilai sekarang dari investasi (Net Present Value)
I	= Modal (Investment) awal
CF	= Cash Flow tiap tahunnya
r	= tingkat bunga (interest rate) %
n	= tahun ke n

atau

$$\begin{aligned} NPV &= \sum PV \text{ Benefit} - \sum PV \text{ Cost (Biaya Investasi)} \\ &= \sum \frac{P_t}{(1+i)^n} - \sum \frac{I_0}{(1+i)^n} \end{aligned} \quad (2.30)$$

Dimana:

$P_t$  = Cashflow tahun ke t

$i$  = Tingkat discount

$I_0$  = Biaya investasi (*Cost*)

$n$  = Tahun ke n

## 2. *Benefit - Cost Ratio (BCR)*

Untuk mengkaji kelayakan investasi sering digunakan pula kriteria ini. Pada proyek sektor swasta benefit umumnya berupa pendapatan dikurangi biaya di luar biaya pertama (misal: biaya operasional). BCR adalah perbandingan antara *benefit* terhadap *cost*. Yang termasuk benefit dalam hal ini adalah manfaat dan pendapatan.

Rumus BCR :

$$BCR = \frac{R - (C)op}{Cf} \quad (2.31)$$

Dimana :

CF = Biaya pertama

R = Suku Bunga Hutang/ Pinjaman

Atau

$$B/C \text{ Ratio} = \frac{\sum PV \text{ Benefit}}{\sum PV \text{ Cost}} \quad (2.32)$$

Indikator BCR :

- Bila  $BCR > 1$ , maka proyek layak (*feasible*) dilaksanakan;
- Bila  $BCR < 1$ , maka proyek tidak layak (*non feasible*) dilaksanakan;
- Bila  $BCR = 1$ , maka netral.

## **BAB 3**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1. Pola Pikir Pelaksanaan Tesis**

Tesis ini merupakan suatu penelitian kuantitatif, berupa analisis terhadap kondisi saat ini dan ketersediaan air di sub DAS Lesti di wilayah Kabupaten Malang. Langkah-langkah yang dilakukan antara lain, pengumpulan data-data primer dan sekunder (data ketersediaan air dan kebutuhan air), melakukan analisis teknis, analisis lingkungan dan finansial. Data-data primer dan sekunder yang telah didapat, langkah berikutnya melakukan analisis teknis.

Analisis teknis antara lain menghitung: curah hujan rerata daerah (metode Poligon Thiessen), analisis suhu, evapotranspirasi potensial (ET<sub>p</sub>) (metode Thornthwaite), analisis debit (metode FJ. Mock). Perhitungan curah hujan andalan dan curah hujan efektif sebagai salah satu dasar perhitungan kebutuhan air. Kebutuhan air non irigasi berdasarkan (proyeksi penduduk, kebutuhan air domestik). Setelah ketersediaan air diperoleh dari perhitungan FJ. Mock, maka sebelum melanjutkan perhitungan perlu dikalibrasi dengan debit Kali Lesti kondisi nyata (AWLR). Selisih antara ketersediaan air dengan kebutuhan air menggambarkan kondisi ketersediaan air pada wilayah studi. Jika selisih antara keduanya bernilai positif, maka kondisi ketersediaan air surplus, dan sebaliknya. Dari dasar ini dilakukan analisis konservasi sumber daya air (upaya konservasi vegetatif dan mekanik) yang bertujuan menjaga dan melestarikan keberadaan air pada suatu DAS.

Analisis konservasi sumber daya air meliputi analisis metode vegetasi dan analisis metode mekanis. Analisis metode vegetasi didasarkan pada luas lahan vegetasi dan potensi sebaran vegetasi. Potensi sebaran vegetasi menggunakan tanaman gaharu, bambu dan tanaman porang. Analisis metode mekanik menggunakan pemanen air hujan melalui atap, dan pembangunan embung. Setelah analisa teknis selesai hingga muncul volume tampungan embung, langkah berikutnya adalah analisa aspek finansial. Analisis finansial ini menggunakan

metode NVP dan BCR. Tujuan analisa ini, apakah upaya konservasi tersebut (vegetatif dan mekanis) layak untuk dilakukan.

### **3.2. Pelaksanaan Pengerjaan Tesis**

#### **3.2.1. Pengumpulan Data**

Dalam melakukan tesis ini, pengumpulan data harus diusahakan sekomprehensif mungkin untuk mendapatkan gambaran yang lengkap mengenai permasalahan yang akan dibahas. Data yang dibutuhkan antara lain:

1. Data primer

Data primer merupakan hasil pengamatan dan peninjauan kondisi lapangan, yang nantinya digunakan sebagai dasar menentukan lokasi untuk upaya konservasi.

2. Data sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari instansi terkait, antara lain Balai Besar Wilayah Sungai Brantas, Dinas Pengairan Kabupaten Malang, Badan Metereologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Karang Ploso Malang, Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Malang dan Dinas Pertanian dan Kehutanan Kabupaten Malang. Data sekunder yang dibutuhkan dalam mendukung data primer, meliputi:

- a. Peta sub DAS Lesti serta lokasi hidroklimatologi yang bersumber dari Balai Besar Wilayah Sungai Brantas (BBWS Brantas). Dari peta ini dapat diketahui luas DAS, letak stasiun hujan dan klimatologi serta jaringan sungai dan anak sungainya.
- b. Peta tata guna lahan Kab. Malang. Peta ini digunakan untuk mengetahui perubahan penggunaan lahan dalam beberapa tahun terakhir, khususnya perubahan hutan menjadi permukiman penduduk maupun lahan pertanian di wilayah studi.
- c. Peta hidrogeologi. Peta ini berfungsi untuk mengetahui daerah tangkapan sumber air.
- d. Data debit air Kali Lesti (data AWLR) untuk mengetahui fluktuasi debit air yang terjadi selama kurun waktu tertentu.

- e. Data curah hujan yang berasal dari 3 stasiun, yaitu St. Poncokusumo, St. Dampit dan St. Tumpakrenteng yang digunakan untuk analisis hidrologi. Data hujan yang dikumpulkan berupa data hujan harian.
- f. Data klimatologi yang terdiri dari data suhu, kecepatan angin, kelembaban relatif dan lama penyinaran matahari dari BMKG Karangploso Malang. Data ini digunakan untuk menghitung besarnya evapotranspirasi (ET<sub>o</sub>). Data evapotranspirasi merupakan data masukan dalam metode hujan aliran dan data masukan dalam analisis kebutuhan air tanaman.
- g. Data jumlah penduduk, irigasi, ternak, industri dan sarana prasarana sosial dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Malang. Data ini digunakan untuk menghitung kebutuhan total air di wilayah tersebut dalam rangka pemenuhan kebutuhan air.
- h. Data jenis dan kemiringan lahan. Data ini berfungsi untuk mengetahui nilai koefisien infiltrasi yang berpengaruh terhadap penyimpanan air tanah (*ground water storage*).

### **3.2.2. Analisis Teknis**

Analisis teknis ini meliputi menghitung: curah hujan rerata daerah (metode Poligon Thiessen), analisis suhu, evapotranspirasi potensial (ET<sub>o</sub>) (metode Thornthwaite), analisis debit (metode FJ. Mock). Perhitungan curah hujan andalan dan curah hujan efektif sebagai salah satu dasar perhitungan ketersediaan air. Setelah ketersediaan air (debit andalan) diperoleh dari perhitungan FJ. Mock, maka sebelum melanjutkan perhitungan perlu dikalibrasi dengan debit Kali Lesti kondisi nyata. Debit nyata didapat dari data AWLR dalam kurun waktu tertentu. Berikutnya menghitung kebutuhan air non irigasi berdasarkan (proyeksi penduduk, kebutuhan air domestik). Keseimbangan air didapat dari selisih antara ketersediaan air dan kebutuhan air sesuai proyeksi sampai tahun 2023. Keseimbangan air akan memperlihatkan besarnya defisit air pada musim kemarau pada masing-masing tahun proyeksi. Dari hasil defisit tersebut dilakukan upaya konservasi untuk menanggulangnya.

**a. Curah Hujan Rerata Daerah dengan Metode Poligon Thiesen**

Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Stasiun-stasiun hujan terdekat dihubungkan sehingga satu sama lain membentuk beberapa segitiga;
2. Dari setiap segitiga ditarik sumbu yang tepat di tengah sisinya dan memotong tegak lurus;
3. Daerah pengaruh hujan masing-masing stasiun hujan dibatasi sumbu segitiga yang membentuk segi banyak. Segi banyak ini yang disebut poligon thiesen;
4. Tiap-tiap segi banyak poligon thiesen tersebut dihitung luasnya sehingga terdapat luas daerah pengaruh tiap-tiap stasiun hujan;
5. Prosentase luas pengaruh tiap stasiun total didapat dari luas daerah stasiun tersebut dibagi luas total daerah aliran sungai (DAS);
6. Curah hujan maksimum daerah tahunan tiap stasiun didapat dari hasil perkalian prosentase luas daerah dengan curah hujan.

Untuk mendapatkan curah hujan maksimum daerah pada suatu daerah aliran sungai adalah sebagai berikut:

- Menjumlahkan curah hujan yang didapat dari metode poligon thiesen pada hari yang sama untuk semua stasiun pengamatan;
- Dari hasil penjumlahan curah hujan maksimum daerah tahunan tersebut pilih yang tertinggi untuk setiap tahunnya.

**b. Evapotranspirasi Potensial dengan Metode Thornthwaite**

Setelah menganalisa hidrologi, pada langkah selanjutnya yaitu menghitung evapotranspirasi di sub DAS Lesti. Data yang dibutuhkan dalam menganalisa evapotranspirasi yaitu memasukkan data eksisting temperatur dari stasiun penakar hujan serta data klimatologi. Evapotranspirasi yang digunakan adalah Evapotranspirasi Potensial (ET<sub>p</sub>), dimana sangat dipengaruhi oleh permukaan lahan terbuka.

Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Menghitung indeks panas tahunan (I) untuk seluruh bulan dan hasilnya dijumlahkan selama setahun;

2. Menghitung nilai  $a$  berdasarkan nilai  $I$  yang diperoleh;
3. Jika telah didapat nilai  $a$  dan  $I$  dilanjutkan menghitung nilai temperatur bulanan rerata ( $T_m$ );
4. Menghitung evapotranspirasi potensial bulanan ( $ET_o$  bulanan)

#### c. Debit Efektif

Untuk menghitung debit efektif di kali Lesti menggunakan metode FJ. Mock. Data-data yang dijadikan sebagai inputnya antara lain:

- Jumlah curah hujan bulanan;
- Nilai  $ET_o$ ;
- Nilai soil moist storage 200 mm jika curah hujan  $> 200$  mm, dan
- Merupakan nilai curah hujan jika besar curah hujan  $< 200$  mm,
- Koefisien infiltrasi,
- Nilai  $K = 0,6$

Setelah debit efektif sungai diperoleh dari perhitungan Mock, maka sebelum melanjutkan perhitungan, terlebih dahulu, debit hasil perhitungan perlu dikalibrasi dengan debit Kali Lesti kondisi nyata yang merupakan hasil data AWLR. Hal ini perlu dilakukan agar debit perhitungan sebisa mungkin dapat menyerupai atau mendekati kondisi nyata.

#### d. Kebutuhan Air

Dalam pemenuhan kebutuhan air baik untuk domestik maupun non domestik perlu dibuat acuan dalam pemanfaatan air yaitu dengan mengacu pada suatu Debit Andalan. Debit andalan adalah debit minimum yang dijadikan titik tinjau suatu sungai yang merupakan gabungan antara limpasan langsung (*direct run off*) dan aliran dasar (*baseflow*) untuk keperluan irigasi, penyediaan air bersih, industri dan lain-lain. Debit andalan nantinya akan dijadikan acuan pada suatu waktu dengan besaran nilai debit tertentu. Debit andalan untuk irigasi ditetapkan 80%, sedangkan untuk kebutuhan air bersih/minum ditetapkan sebesar 90% (Triatmojo, 2014). Jika ditetapkan debit andalan sebesar 90% artinya resiko adanya debit yang lebih kecil dari debit andalan sebesar 10%. Sebelum menentukan besaran debit



andalan terlebih dahulu mengurutkan debit tahunan hasil analisis debit efektif dari yang terbesar ke yang terkecil. Dalam tesis ini hanya menghitung kebutuhan air domestik dan non domestik, maka debit andalan yang dibutuhkan yaitu 90%. Jika tidak terdapat nilai yang bulat, maka dilakukan interpolasi untuk masing-masing debit andalan.

#### **e. Kebutuhan Air**

Untuk mengetahui besar kebutuhan air, maka terlebih dahulu harus diketahui jumlah penduduk yang ada pada kota yang akan di analisa dan juga besar pertumbuhan penduduk pada kota tersebut sebagai acuan proyeksi jumlah penduduk untuk tahun yang akan datang. Dari data tersebut kemudian dihitung tingkat pertumbuhan tiap tahunnya.

Setelah diketahui jumlah proyeksi penduduk dimasa yang akan datang, maka analisa dilanjutkan dengan terlebih dahulu mencari jumlah pemakaian air yang digunakan oleh penduduk. Dalam tesis ini hanya menganalisa kebutuhan untuk air bersih sebesar 94,87 ltr/jiwa/hari (PDAM Kab.Malang, 2015). Kemudian kebutuhan tersebut dikalikan dengan jumlah penduduk pada tahun-tahun yang telah diproyeksikan dalam kota tersebut dengan persamaan sebagai berikut: Jika telah diketahui besarnya kebutuhan air bersih penduduk, maka pada langkah selanjutnya yaitu memperhitungkan besaran kebutuhan air domestik untuk ternak. Kebutuhan air masing-masing ternak tergantung dari jenis dan konsumsi rata-rata ternak seperti yang tercantum pada Tabel 2.7. Besarnya kebutuhan air tidak hanya dari kebutuhan domestik, namun kebutuhan non domestik juga harus diperhitungkan. Dalam analisa kebutuhan non domestik pada penelitian ini memperhitungkan beberapa kebutuhan air seperti:

- Kebutuhan air fasilitas kesehatan
- Kebutuhan air penginapan
- Kebutuhan air untuk fasilitas pendidikan
- Kebutuhan air untuk fasilitas peribadatan

**i. Perbandingan antara Ketersediaan dan Kebutuhan air**

Analisis perbandingan antara ketersediaan dan kebutuhan air didasari pada jumlah ketersediaan air dengan jumlah kebutuhan air yang diperlukan. Selisih antara ketersediaan air dengan kebutuhan air menggambarkan kondisi ketersediaan air di sub DAS Lesti. Jika selisih antara keduanya bernilai positif, maka kondisi ketersediaan air surplus, dan sebaliknya menunjukkan bahwa ketersediaan air mengalami defisit.

**3.2.3. Analisis Konservasi Sumber Daya Air**

Upaya konservasi sumberdaya air diperlukan dalam rangka upaya untuk menjaga dan melestarikan keberadaan air pada suatu daerah aliran sungai. Usaha konservasi tersebut dapat menggunakan 2 metode yang meliputi:

**1) Metode Vegetasi**

Dalam usaha konservasi vegetasi perlu diperhatikan beberapa parameter yang akan menunjang keberhasilan konservasi sumber daya air, diantaranya adalah sebagai berikut:

- Vegetasi tanaman yang dapat digunakan memiliki nilai ekonomi, hidrologis dan konservasi.
- Vegetasi tanaman konservasi dipadukan tanaman semusim dengan cara tumpangsari agar diperoleh nilai ekonomis tambahan.
- Jenis vegetasi disesuaikan topografi wilayah, jenis tanah dan iklim.

**2) Metode Mekanis**

Upaya lain dalam usaha konservasi sumber daya air adalah dengan pengumpulan air hujan atau sering disebut pemanen air hujan, dimana dalam penelitian ini menggunakan media atap bangunan rumah dan pembuatan embung. Hal-hal yang mempengaruhi volume air hujan yang tertampung menggunakan sistem ini adalah :

- Curah hujan;
- Luasan area tangkapan;

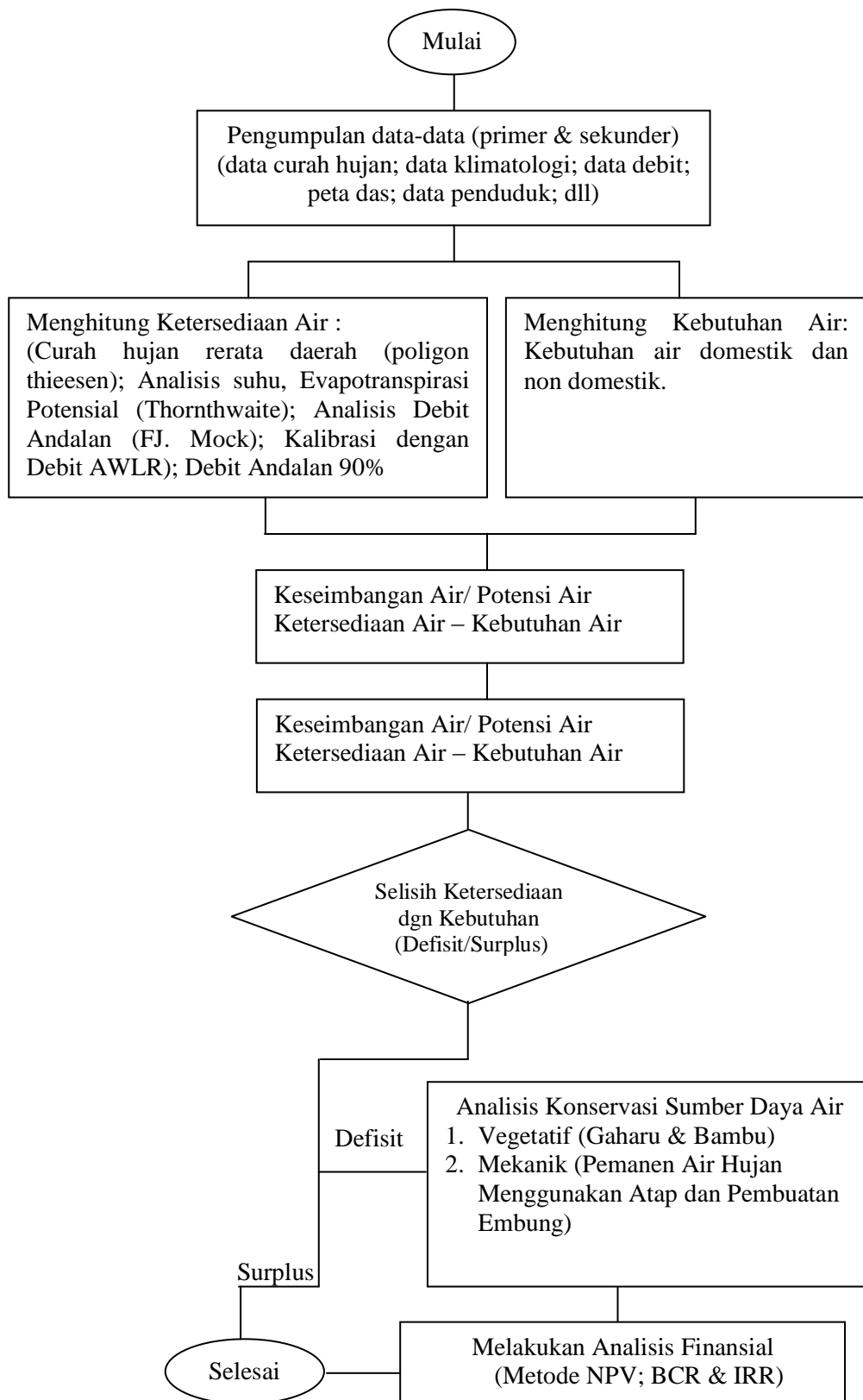
- Kapasitas penampungan air (reservoir). Jika kondisi porous, maka sebaiknya konstruksi reservoir dilakukan pengecoran dan jika sebaliknya maka konstruksinya tak perlu dilakukan pengecoran;  
Kemiringan lereng. Pemanen air hujan tidak direkomendasikan untuk wilayah yang memiliki kemiringan lebih dari 5% karena berpengaruh terhadap distribusi run-off, erosi tanah dan biaya pembuatan bangunan penangkap air hujan.

#### **3.2.4. Analisis Finansial**

Aspek finansial yang ditinjau adalah biaya modal/investasi; perhitungan manfaat yang identik dengan kerugian kekeringan yang timbul bila tidak dilakukan sesuatu; perhitungan kerugian dan keuntungan. Parameter yang digunakan yaitu metode NPV dan BCR. Tujuan analisa ini, adalah untuk menilai upaya konservasi tersebut layak untuk dilakukan atau tidak. Karena keterbatasan data, maka untuk melakukan analisis finansial diperlukan asumsi-asumsi. Asumsi-asumsi yang digunakan dalam penelitian antara lain: biaya konstruksi, biaya O&P, tingkat inflasi rata-rata pertahun, dan nilai suku bunga bank pinjaman proyek pemerintah. Biaya konstruksi berdasarkan studi pembangunan Embung Kukur-kukur Kabupaten Kediri pada tahun 2012 dengan kapasitas tampungan 76.122 m<sup>3</sup>, biaya konstruksinya Rp.6.355.940.000,-. Biaya O&P ditetapkan sebesar 2% dari biaya konstruksi. Tingkat inflasi rata-rata Tahun 2015 sebesar 3,4% (Bank Indonesia, 2015). Nilai suku bunga bank pinjaman sebesar 11% (Bank Indonesia, 2016).

#### **3.3. Bagan Metodologi**

Dalam pelaksanaan penyelesaian tesis ini dapat digambarkan melalui bagan berikut ini (Gambar 3.1).



Gambar 3.1 Bagan Metodologi

“ halaman ini sengaja dikosongkan.....”

## BAB 4

### GAMBAR UMUM WILAYAH

#### 4.1. Administrasi dan Letak Geografis

Sub DAS Lesti merupakan bagian dari DAS Brantas bagian hulu yang terletak di wilayah Kabupaten Malang, Propinsi Jawa Timur. Luas wilayah nya  $\pm 635$  km<sup>2</sup>. Secara geografis berada pada titik koordinat antara 7°40'-7°55' Lintang Selatan dan 112°10'-112°25' Bujur Timur dengan ketinggian antara 235m – 3.676m dpl. Secara administrasi wilayah nya meliputi 12 kecamatan seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Wilayah kecamatan yang masuk sub DAS Lesti

No	Kecamatan	Luas Wilayah Kecamatan	Luas Masuk Sub DAS Lesti	% Terhadap Sub DAS Lesti
		(km <sup>2</sup> )	(km <sup>2</sup> )	(%)
1	Poncokusumo	152,99	87,09	13,71
2	Wajak	94,56	86,07	13,55
3	Dampit	135,31	92,72	14,60
4	Tirtoyudo	141,96	70,29	11,07
5	Turen	93,90	82,07	12,92
6	Gondanglegi	79,74	38,49	6,06
7	Sumbermanjing	65,90	43,81	6,90
8	Bululawang	49,36	8,61	1,36
9	Pagelaran	49,83	41,93	6,60
10	Gedangan	130,55	24,41	3,84
11	Bantur	159,15	38,19	6,01
12	Pagak	90,08	21,32	3,36
	<b>Jumlah</b>		<b>635,00</b>	<b>100,00</b>

Sumber: BBWS Brantas, 2013

#### 4.2. Keadaan Iklim

Data klimatologi yang digunakan dalam tesis ini diambil dari Stasiun Klimatologi Karangploso Malang dengan pencatatan mulai tahun 2003-2013. Data klimatologi yang tersedia adalah suhu udara. Suhu bulanan rata-rata yang tercatat di Stasiun Klimatologi Karangploso adalah 23,6 °C.

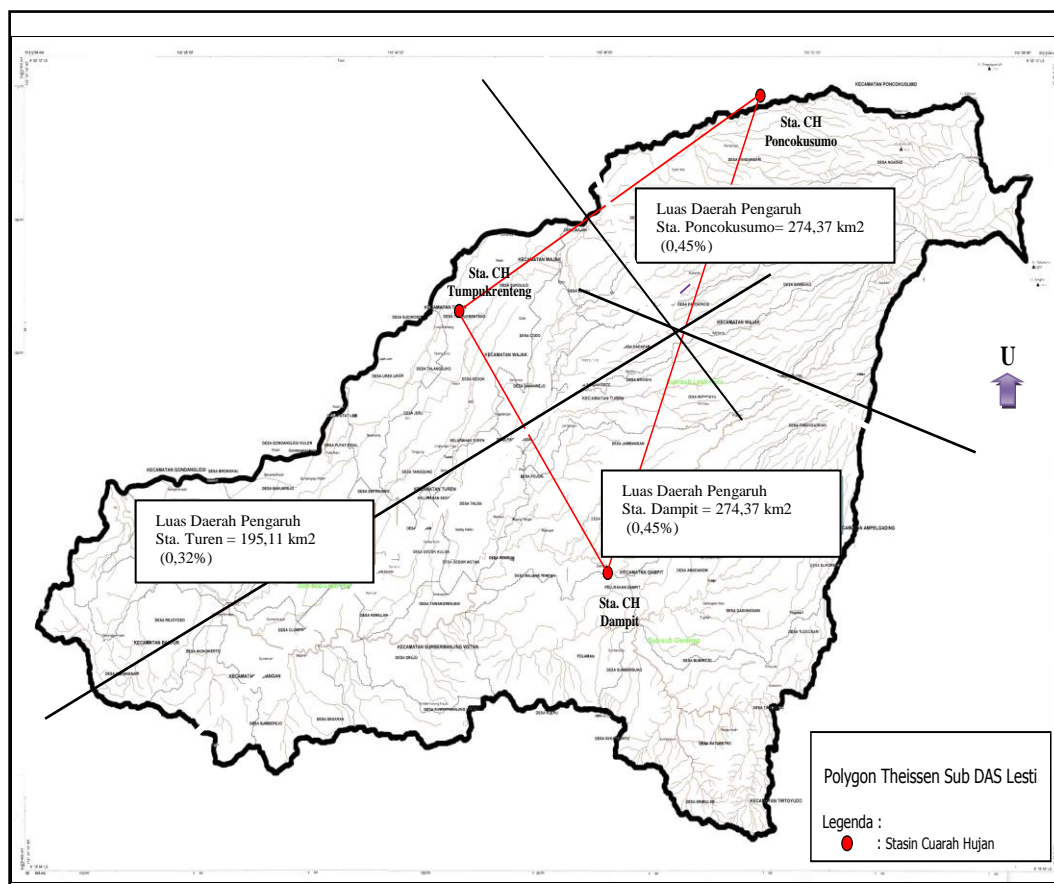
### 4.3. Ketersediaan Pos Hujan

Stasiun hujan yang akan digunakan untuk keperluan analisis hidrologi pada penelitian ini adalah 3 stasiun hujan dengan pencatatan mulai tahun 2003-2013. Lokasi dan peta stasiun hujan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.1. Hujan rerata tahunan yang tercatat di stasiun tersebut selama 2003-2013 sebesar 1937 mm/th. Hujan rata-rata bulanan terbesar terjadi pada bulan Desember dan curah hujan rata-rata terkecil terjadi pada bulan Agustus.

Tabel 4.2 Lokasi stasiun hujan di sub DAS Lesti

No	Kecamatan	Desa / Stasiun	Periode Tahun	Geografis		Elevasi (m dpl)
				B T	L S	
1	Poncokusumo	Poncokusumo	2003-2013	112° 76'	8° 03'	508
2	Turen	Tumpakrenteng	2003-2013	112° 68'	8° 10'	300
3	Dampit	Dampit	2003-2013	112° 73'	8° 20'	645

Sumber: BBWS Brantas, 2013



Sumbar 4.1 Peta lokasi stasiun hujan di sub DAS Lesti (BBWS Brantas, 2013)

#### **4.4. Ketersediaan Pos Duga Air**

Data debit yang akan digunakan untuk analisa ketersediaan air berasal dari stasiun pencatat muka air (AWLR) milik Perum Jasa Tirta I yang berada di Desa Tawangrejeni. Data tersebut dengan periode pencatatan dari tahun 2003-2013.

#### **4.5. Topografi**

Tanah di Sub DAS Lesti dapat dikelompokkan menjadi 6 (enam) jenis. Jenis-jenis tanah tersebut antara lain: Aluvial, Regosol, Andosol, Mediteran dan Latosol. Aluvial yaitu jenis tanah yang terbentuk karena endapan lumpur yang terbawa oleh aliran sungai. Tanah ini biasanya ditemukan dibagian hilir karena dibawa dari hulu. Daerah sebarannya yaitu Kecamatan Turen, Sumbermanjing Wetan, Wajak, Pagelaran, Gedangan, Bantur dan Pagak dengan total luasan 94,37 km<sup>2</sup>. Regosol adalah tanah berbutir kasar dan berasal dari material gunung berapi, tanah regosol berupa tanah aluvial yang baru diendapkan. Daerah sebarannya meliputi Kecamatan Poncokusumo, Wajak, Dampit, Turen dan Gondanglegi, dengan total luasan 70,24 km<sup>2</sup>.

Tanah Andosol merupakan salah satu jenis tanah vulkanik dimana terbentuk karena adanya proses vulkanisme pada gunung berapi. Tanah ini sangat subur dan baik untuk tanaman. Daerah sebarannya antara lain Kecamatan Poncokusumo, Wajak, Tirtoyudo, Turen, Bululawang, Gondanglegi, dan Pagelaran, dengan total luasan 151,43 km<sup>2</sup>. Tanah Mediteran atau tanah Alfisol adalah tanah yang bahan induknya berupa batuan beku yang berkapur banyak mengandung karbonat. Wilayah sebarannya meliputi Kecamatan Tirtoyudo, Sumbermanjing, Gedangan, Bantur dan Pagak, dengan total luasan 71,28 km<sup>2</sup>. Tanah Latosol terbentuk dari pelapukan batuan sedimen dan metamorf. Wilayahnya meliputi Kecamatan Poncokusumo, Wajak, Dampit, Tirtoyudo, Turen, Gondanglegi, Sumbermanjing, dan Bululawang, total luasannya 247,68 km<sup>2</sup> (BBWS Brantas, 2013). Untuk lebih jelasnya, jenis tanah dimasing-masing kecamatan dapat dilihat pada Tabel 4.3.



Tabel 4.3 Jenis Tanah di sub DAS Lesti

No	Kecamatan	Luas	Jenis Tanah (km <sup>2</sup> )				
		(km <sup>2</sup> )	Alluvial	Rogosol	Andosol	Mediteran	Latosol
1	Poncokusumo	87,09	-	9,96	43,98	-	31,15
2	Wajak	86,07	10,71	1,58	18,48	-	44,90
3	Dampit	92,72	-	17,70	-	-	78,82
4	Tirtoyudo	70,29	-	-	6,23	7,78	60,08
5	Turen	82,07	14,14	40,73	30,28	-	1,72
6	Gondanglegi	38,49	-	0,27	38,22	-	-
7	Sumbermanjing	43,81	6,50	-	-	6,30	31,01
8	Bululawang	8,61	-	-	8,61	-	-
9	Pagelaran	41,93	36,30	-	5,63	-	-
10	Gedangan	24,41	12,11	-	-	12,30	-
11	Bantur	38,19	10,39	-	-	27,80	-
12	Pagak	21,32	4,22	-	-	17,10	-
		<b>635,00</b>	<b>94,37</b>	<b>70,24</b>	<b>151,43</b>	<b>71,28</b>	<b>247,68</b>
	Jumlah Total		<b>635,00</b>				

Sumber: BBWS Brantas, 2013

#### 4.6. Kemiringan Lahan

Kelas kemiringan lahan (lereng) di Sub DAS lesti berkisar dari kelas datar sampai sangat terjal. Nilai lereng paling banyak dijumpai berada pada kelas datar (3-8%) dan landai (8-15%). Daerah yang memiliki nilai lereng pada kelas curam sampai terjal umumnya berada pada sisi timur laut Sub DAS Lesti, yaitu di bawah komplek Gunung Semeru. Pada Tabel 4.4 berisi data luasan lahan pada tiap kelas di masing-masing kecamatan.

#### 4.7. Tata Guna Lahan

Berdasarkan data yang dihimpun dari Sistem Informasi dan Data (SISDA) BBWS Brantas, pada periode antara tahun 2003 sampai 2013 telah terjadi perubahan tata guna lahan di wilayah studi. Penggunaan lahan pada sub DAS Lesti pada tahun 2003 terdiri dari sawah (5,8%), tegalan (18,5%), permukiman (6%), perkebunan (30,3%), hutan (30,9%), semak belukar (8,6%). Pada tahun 2013 penggunaan lahan di wilayah tersebut terdiri dari sawah (5,5%), tegalan (20,7%), permukiman (6,6%), perkebunan (43,9%), hutan (14,3%) dan

semak belukar (9%). Sebaran penggunaan lahan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.4 Luasan Kondisi Lereng di Sub DAS Lesti (km<sup>2</sup>)

No	Kecamatan	Luas	Luasan Kondisi Lereng Lahan (km <sup>2</sup> )						
		(km <sup>2</sup> )	0-3% (Datar)	3-8% (Sangat Landai)	8-15 (Landai)	15-25% (Agak Curam)	25-40% (Curam)	40-60% (Sangat Curam)	>60% (Terjal)
1	Poncokusumo	87,09	2,19	8,50	14,76	9,85	7,91	6,74	7,27
2	Wajak	86,07	6,53	11,00	9,71	10,07	11,37	10,43	6,90
3	Dampit	92,72	4,66	12,34	14,02	11,90	9,60	4,66	1,50
4	Tirtoyudo	70,29	4,97	15,22	23,22	22,13	12,84	4,43	0,22
5	Turen	82,07	18,45	31,45	23,72	15,85	9,11	3,93	1,49
6	Gondanglegi	38,49	6,55	15,32	17,90	16,85	10,02	1,41	0,02
7	Sumbermanjing	43,81	25,03	30,22	9,85	4,10	2,35	-	-
8	Bululawang	8,61	3,54	5,40	5,39	3,61	1,50	0,30	0,05
9	Pagelaran	41,93	9,63	9,67	3,24	1,46	0,72	-	-
10	Gedangan	24,41	9,03	9,90	2,88	1,32	0,66	-	-
11	Bantur	38,19	10,91	10,98	3,28	1,38	0,65	0,09	-
12	Pagak	21,32	7,46	11,45	6,91	3,59	1,31	0,13	-
		635,00	108,95	171,45	134,88	102,11	68,04	32,12	17,45
	Jumlah Total					<b>635,00</b>			

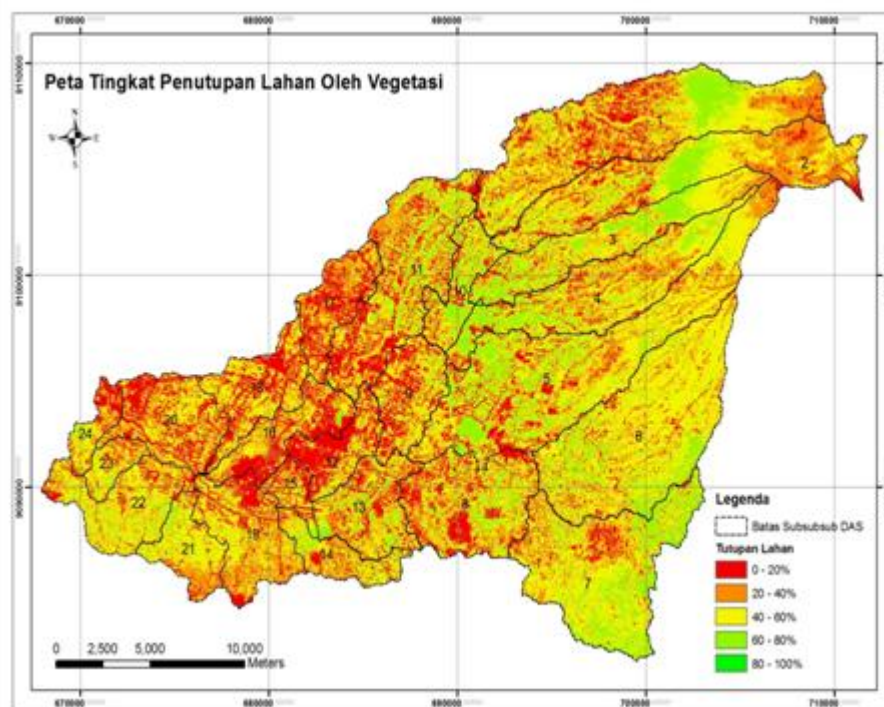
Sumber: Data dan Informasi BBWS Brantas, 2013

Tabel 4.5 Sebaran Penggunaan Lahan

No	Jenis Penggunaan Lahan	Tahun 2003		Tahun 2013		Alih Fungsi Lahan
		Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>
1	Sawah	36,78	5,8	35,23	5,5	-1,55
2	Tegalan	117,34	18,5	131,40	20,7	14,06
3	Permukiman	38,10	6,0	41,91	6,6	3,81
4	Perkebunan	192,43	30,3	278,85	43,9	86,42
5	Hutan	195,90	30,9	90,67	14,3	-105,23
6	Semak belukar	54,45	8,6	56,94	9,0	2,49
	Jumlah	635,00	100,0	635,00	100,0	

Sumber: Data dan Informasi BBWS Brantas, 2013

Jika dilihat dari kondisi tutupan lahan di sub DAS Lesti prosentase tingkat penutupan 0-20% (sangat buruk) seluas 98,85 km<sup>2</sup>. Tutupan lahan dengan prosentase tingkat penutupan 20-40% (buruk) seluas 166,63 km<sup>2</sup>. Prosentase tingkat penutupan lahan 40-60% (kondisi sedang) seluas 278,85 km<sup>2</sup> dan prosentase penutupan lahan 60-80% (baik) seluas 90,67 km<sup>2</sup>. Sebaran tingkat penutupan lahan oleh vegetasi di sub DAS Lesti dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Sebaran Tingkat Tutupan Lahan (BBWS Brantas, 2013)

Kondisi tutupan lahan per kecamatan di wilayah sub DAS Lesti dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Kondisi Tutupan Lahan per Kecamatan

No	Kecamatan	Luas	Luasan Kondisi Tutupan Lahan (km2)			
		(km2)	0-20% (sangat buruk)	20-40% (buruk)	40-60% (sedang)	60-80% (baik)
1	Poncokusumo	87,09	12,45	23,45	39,89	11,30
2	Wajak	86,07	12,81	24,90	38,89	9,47
3	Dampit	92,72	8,22	17,15	51,53	15,82
4	Tirtoyudo	70,29	8,67	15,54	31,65	14,43
5	Turen	82,07	15,31	21,94	37,55	7,27
6	Gondanglegi	38,49	7,57	9,95	10,70	10,27
7	Sumbermanjing	43,81	8,49	11,57	21,73	2,02
8	Bululawang	8,61	1,32	2,98	4,31	-
9	Pagelaran	41,93	8,05	11,69	12,49	9,70
10	Gedangan	24,41	4,62	9,30	6,71	3,78
11	Bantur	38,19	7,45	10,71	13,42	6,61
12	Pagak	21,32	3,89	7,45	9,98	-
		<b>635,00</b>	<b>98,85</b>	<b>166,63</b>	<b>278,85</b>	<b>90,67</b>
	Jumlah Total		<b>635,00</b>			

Sumber: BBWS Brantas, 2013

Kondisi tutupan lahan dengan kriteria sangat buruk dengan luas total 98,85 km<sup>2</sup> meliputi permukiman (43,9 km<sup>2</sup>) dan semak belukar (56,94 km<sup>2</sup>). Kondisi buruk dengan luas total 166,6 km<sup>2</sup> diantaranya sawah (35,23 km<sup>2</sup>) dan tegalan (131,40 km<sup>2</sup>). Kondisi sedang dengan luas total 278,85 km<sup>2</sup> meliputi perkebunan (278,85 km<sup>2</sup>). Kondisi dengan luas total baik 90,67 km<sup>2</sup> yaitu hutan (90,67 km<sup>2</sup>). Dengan kondisi tutupan lahan tersebut menyebabkan potensi sumber air mengalami penurunan dari 77 sumber air pada tahun 2003 menjadi 35 sumber air di tahun 2013. Sumber air yang terbesar adalah sumber air Ubalan yang berada di Desa Pamotan Kecamatan Dampit dengan debit 50 ltr/dt. Sumber air yang terkecil adalah sumber air Wek yang terletak di Desa Gamping Kecamatan Pagak dengan kapasitas debitnya 2 ltr/dt (BBWS Brantas, 2013). Kondisi tersebut membuat Kabupaten Malang secara umum berpotensi mengalami bencana kekeringan. Pada musim kemarau wilayah yang berpotensi mengalami kekeringan di Kabupaten Malang cenderung meningkat. Pada tahun 2013 kekeringan melanda 4 kecamatan, pada tahun 2014 kekeringan menimpa 10 kecamatan (BPBD Kab. Malang, 2014). Dari 10 kecamatan tersebut 7 diantaranya yang masuk di wilayah Sub DAS Lesti. Kecamatan yang mengalami kekeringan di wilayah studi antara lain: Turen, Gondanglegi, Sumbermanjing, Pagelaran, Gedangan, Pagak dan Bantur.

#### **4.8. Data Penduduk**

Jumlah penduduk pada wilayah studi dari tahun 2000 sampai 2010 meningkat sekitar 43.482 jiwa. Selama kurun waktu 10 tahun perkembangan jumlah penduduk yang cukup besar dengan rata-rata pertumbuhan sebesar 0,49% pertahun. Penyebaran kepadatan penduduk pada masing-masing kecamatan, yang paling kecil dan paling besar berturut-turut adalah kecamatan Gedangan sebesar 398 jiwa/km<sup>2</sup> dan Kecamatan Turen sebesar 1.748 jiwa/km<sup>2</sup>. Jumlah dan kepadatan penduduk seperti ditunjukkan pada Tabel 4.7. Dari table 4.7 dapat kita ketahui berapa jumlah penduduk pada tahun 2003 sampai tahun 2013 dengan cara menambahkan jumlah penduduk tahun awal dengan kenaikan laju pertumbuhan penduduk pertahunnya. Jumlah penduduk pada tahun 2003 sampai 2013 dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.7 Jumlah dan Kepadatan Penduduk

No	Kecamatan	Luas Wilayah	Jumlah Penduduk (Jiwa)		Laju Pertumbuhan	Kepadatan
		(km2)	2000	2010	%/Th	Jiwa/km2
1	Poncokusumo	102,99	88.448	91.833	0,38	892
2	Wajak	94,56	75.887	79.614	0,48	842
3	Dampit	135,31	114.713	118.273	0,31	874
4	Tirtoyudo	141,96	57.216	59.216	0,34	417
5	Turen	63,90	105.200	111.708	0,60	1.748
6	Gondanglegi	79,74	74.392	81.495	0,91	1.022
7	Sumbermanjing	35,90	51.676	51.797	0,02	1.443
8	Bululawang	49,36	62.830	68.647	0,89	1.391
9	Pagelaran	45,83	61.178	65.491	0,68	1.429
10	Gedangan	130,55	49.353	52.020	0,53	398
11	Bantur	159,15	65.417	68.069	0,40	428
12	Pagak	90,08	43.978	45.429	0,32	504
	Rata-rata			43.304	0,49	949,00

Sumber: BPS Kab. Malang, dalam Kab. Malang dalam Angka, 2013

Tabel 4.8 Jumlah Pertumbuhan Penduduk per tahunan (jiwa)

No	Kecamatan	Jumlah Penduduk (Jiwa)				
		2003	2004	2005	2006	2007
1	Poncokusumo	89,448	89,784	90,121	90,460	90,800
2	Wajak	76,984	77,353	77,724	78,096	78,471
3	Dampit	115,768	116,122	116,477	116,833	117,190
4	Tirtoyudo	57,808	58,006	58,206	58,406	58,606
5	Turen	107,106	107,749	108,395	109,046	109,701
6	Gondanglegi	76,446	77,143	77,846	78,556	79,273
7	Sumbermanjing	51,712	51,724	51,736	51,749	51,761
8	Bululawang	64,514	65,085	65,661	66,243	66,829
9	Pagelaran	62,437	62,862	63,290	63,722	64,156
10	Gedangan	50,136	50,400	50,665	50,932	51,200
11	Bantur	66,200	66,463	66,727	66,992	67,259
12	Pagak	44,408	44,552	44,696	44,842	44,987

Lanjutan

No	Kecamatan	Jumlah Penduduk (Jiwa)					
		2008	2009	2010	2011	2012	2013
1	Poncokusumo	91,141	91,483	91,833	92,178	92,524	92,872
2	Wajak	78,847	79,225	79,614	79,996	80,379	80,764
3	Dampit	117,548	117,907	118,273	118,634	118,997	119,361
4	Tirtoyudo	58,808	59,010	59,216	59,419	59,624	59,828
5	Turen	110,359	111,022	111,708	112,378	113,053	113,732
6	Gondanglegi	79,996	80,725	81,495	82,239	82,988	83,745
7	Sumbermanjing	51,773	51,785	51,797	51,809	51,821	51,833
8	Bululawang	67,421	68,018	68,647	69,255	69,868	70,487
9	Pagelaran	64,593	65,033	65,491	65,937	66,386	66,838
10	Gedangan	51,470	51,741	52,020	52,294	52,569	52,845
11	Bantur	67,526	67,794	68,069	68,340	68,611	68,884
12	Pagak	45,133	45,280	45,429	45,576	45,724	45,873

Sumber: Hasil Perhitungan

#### 4.9. Fasilitas Kesehatan

Fasilitas pelayanan kesehatan di Kabupaten Malang terdiri dari RS Pemerintah dan Swasta, Rumah Bersalin dan Puskesmas. Jumlah fasilitas kesehatan di wilayah studi pada tahun 2013 mencapai 69 unit. Rincian jumlah fasilitas pendidikan seperti ditunjukkan pada Tabel 4.9.

#### 4.10. Fasilitas Pendidikan

Fasilitas pendidikan di Kabupaten Malang terdiri dari TK, SD Negeri dan Swasta, SMP/MTs Negeri dan Swasta, dan SMA/SMK/MA Negeri dan Swasta. Jumlah fasilitas pendidikan di wilayah studi pada tahun 2013 mencapai 1046 unit. Rincian jumlah fasilitas pendidikan seperti ditunjukkan pada Tabel 4.10.

#### 4.11. Peribadatan

Tempat ibadah di Kabupaten Malang meliputi: Masjid, Musholah, Gereja, Pura, Vihara dan Klenteng. Jumlah fasilitas peribadatan di wilayah studi pada tahun 2013 sebanyak 6.234 tempat ibadah. Rincian jumlah fasilitas pendidikan seperti ditunjukkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.9 Jumlah Fasilitas Kesehatan

No	Kecamatan	Jumlah Fasilitas Kesehatan (Unit)			
		RS Pemerintah	RS Swasta	Rmh Bersalin	Puskesmas
1	Poncokusumo	0	0	0	6
2	Wajak	0	0	0	3
3	Dampit	0	1	3	6
4	Tirtoyudo	0	0	0	5
5	Turen	0	1	2	5
6	Gondanglegi	0	1	0	5
7	Sumbermanjing	0	0	0	7
8	Bululawang	0	1	2	5
9	Pagelaran	0	0	0	2
10	Gedangan	0	0	0	4
11	Bantur	0	0	0	5
12	Pagak	0	0	0	5
Jumlah		0	4	7	58
Jumlah Total		69			

Sumber: Dinas Kesehatan Kab. Malang, dalam Kab. Malang  
dalam Angka, 2013

Tabel 4.10 Jumlah Fasilitas Pendidikan

No	Kecamatan	Jumlah Fasilitas Pendidikan (Unit)			
		TK	SD/MI	SMP/MTs	SMA/SMK
1	Poncokusumo	46	40	9	3
2	Wajak	37	39	10	3
3	Dampit	48	50	12	4
4	Tirtoyudo	30	35	12	5
5	Turen	46	53	13	10
6	Gondanglegi	45	27	8	10
7	Sumbermanjing	28	51	11	5
8	Bululawang	32	23	11	11
9	Pagelaran	26	23	7	3
10	Gedangan	29	35	10	4
11	Bantur	33	39	10	5
12	Pagak	16	29	7	3
Jumlah		416	444	120	66
Jumlah Total		1046			

Sumber: Dinas Pendidikan Kab. Malang, dalam Kab. Malang  
dalam Angka, 2013

Tabel 4.11 Jumlah Fasilitas Ibadah

No	Kecamatan	Jumlah Fasilitas Ibadah (Unit)				
		Masjid	Musholah	Gereja	Pura	Vihara
1	Poncokusumo	51	284	1	2	1
2	Wajak	77	457	3	0	0
3	Dampit	89	600	23	0	1
4	Tirtoyudo	89	254	24	0	1
5	Turen	74	554	9	0	0
6	Gondanglegi	55	616	4	0	0
7	Sumbermanjing	72	501	37	0	0
8	Bululawang	50	355	6	0	0
9	Pagelaran	58	463	5	0	0
10	Gedangan	61	334	8	4	1
11	Bantur	102	478	4	0	0
12	Pagak	77	344	3	2	0
	Jumlah	855	5240	127	8	4
	Jumlah Total	6234				

Sumber: Kantor Kementerian Agama Kab.Malang, dalam Kab. Malang dalam Angka, 2013

#### 4.12. Peternakan

Sektor peternakan di Kabupaten Malang terdiri dari: Ternak Besar; Ternak Kecil; dan Ternak Unggas. Ternak besar meliputi: Kuda, Sapi perah, Sapi potong, Kerbau. Ternak kecil meliputi: Kambing, Domba, Babi dan Kelinci. Ternak unggas meliputi: Ayam Buras, Ayam Petelur, Ayam Pedaging, Itik, Entog dan Burung Puyuh. Jumlah hewan ternak di wilayah studi pada tahun 2013 sebanyak 121,074 ekor untuk ternak besar; 64,384 ekor ternak kecil dan 5,886,074 ekor unggas. Rincian jumlah populasi ternak tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.12 sampai dengan Tabel 4.14.



Tabel 4.12 Populasi Ternak Besar Tahun 2013

No	Kecamatan	Jumlah Ternak Besar (Ekor)			
		Kuda	Sapi Perah	Sapi Potong	Kerbau
1	Poncokusumo	13	1,085	16,614	-
2	Wajak	15	2,319	16,734	-
3	Dampit	9	139	9,581	112
4	Tirtoyudo	14	8	2,454	9
5	Turen	14	724	9,032	57
6	Gondanglegi	23	535	4,748	18
7	Sumbermanjing	13	90	7,626	170
8	Bululawang	13	126	3,075	-
9	Pagelaran	13	607	5,179	108
10	Gedangan	16	104	15,291	6
11	Bantur	14	966	13,560	59
12	Pagak	9	93	9,679	-
Jumlah		166	6,796	113,573	539
Jumlah Total		121,074			

Sumber: Dinas Peternakan dan Kesehatan Hewan Kab.Malang,  
dalam Kab. Malang dalam Angka, 2013

Tabel 4.13 Populasi Ternak Kecil Tahun 2013

No	Kecamatan	Jumlah Ternak Kecil (Ekor)			
		Kambing	Domba	Babi	Kelinci
1	Poncokusumo	7,564	1,021	146	1,677
2	Wajak	3,843	792	-	615
3	Dampit	2,247	1,260	1,877	858
4	Tirtoyudo	2,988	144	220	155
5	Turen	3,390	752	-	599
6	Gondanglegi	1,154	912	-	250
7	Sumbermanjing	5,545	300	247	45
8	Bululawang	1,938	1,033	-	1,688
9	Pagelaran	943	957	104	305
10	Gedangan	4,163	1,309	-	433
11	Bantur	4,155	1,180	52	2,544
12	Pagak	3,674	1,010	75	220
Jumlah		41,604	10,670	2,721	9,389
Jumlah Total		64,384			

Sumber: Dinas Peternakan dan Kesehatan Hewan Kab.Malang,  
dalam Kab. Malang dalam Angka, 2013

Tabel 4.14 Populasi Ternak Unggas Tahun 2013

No	Kecamatan	Jumlah Ternak Unggas (Ekor)					
		Ayam Busar	Ayam Petelur	Ayam Pedaging	Itik	Entog	Burung Puyuh
1	Poncokusumo	65,116	222,847	756,975	1,044	2,655	3,700
2	Wajak	96,761	155,900	316,035	1,650	1,840	11,900
3	Dampit	55,722	80,600	408,000	1,055	320	5,300
4	Tirtoyudo	51,283	4,950	3,400	425	410	-
5	Turen	97,936	148,965	495,400	24,880	5,670	3,800
6	Gondanglegi	51,550	54,250	169,670	325	1,055	3,000
7	Sumbermanjing	48,884	3,000	1,500	500	1,545	-
8	Bululawang	58,392	192,460	1,172,250	5,892	2,295	2,670
9	Pagelaran	44,712	4,550	145,950	450	1,545	280
10	Gedangan	67,122	37,500	244,860	875	1,455	3,000
11	Bantur	62,950	8,000	299,985	3,490	1,030	2,950
12	Pagak	74,970	498	83,900	1,050	725	450
	Jumlah	775,398	913,520	4,097,925	41,636	20,545	37,050
	Jumlah Total	5,886,074					

Sumber: Dinas Peternakan dan Kesehatan Hewan Kab.Malang, dalam Kab. Malang dalam Angka, 2013

“ halaman ini sengaja dikosongkan.....”

## BAB 5

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 5.1. Perhitungan Curah Hujan Rerata Daerah dengan Metode Poligon Thiesen

Untuk menghitung curah hujan rerata daerah, terlebih dahulu ditentukan luas sub DAS diambil dari beberapa stasiun terdekat yang dianggap berpengaruh dan mewakili kawasan terdekat dengan menggunakan metode Poligon Thiesen. Stasiun hujan yang di wilayah tersebut antara lain: Stasiun Poncokusumo; Turen dan Dampit. Luasan daerah pengaruh Polygon Thiesen dari tiap-tiap stasiun hujan yang berpengaruh di sub DAS Lesti dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Luasan stasiun hujan dengan Poligon Thiesen

No	Stasiun Hujan	Luasan (km <sup>2</sup> )	Prosentase (%)
1	Poncokusumo	140,235	0,23
2	Turen (Tumpakrenteng)	195,110	0,32
3	Dampit	273,374	0,45

Sumber: BBWS Brantas, 2013

Berdasarkan data dari BBWS Brantas tahun 2013, diperoleh data hujan pada masing-masing stasiun penakar hujan seperti pada Table 5.2 – 5.4.

Dari data hujan tersebut, dilakukan perhitungan curah hujan rerata daerah (*areal rainfall*) dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_{Thiesen} = \sum (\text{curah hujan bulanan} \times \text{persentase luas stasiun hujan})$$

Dengan :

$$P_{Thiesen} = \text{tinggi curah hujan rata-rata areal (mm)}$$

Tabel 5.2 Data Curah Hujan Bulanan Sta. Poncokusumo

TH.	B U L A N											
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
2003	267	223	249	91	49	9	0	9	25	24	259	617
2004	380	482	563	70	33	6	22	0	66	23	422	545
2005	210	224	484	189	7	88	1	53	66	73	170	454
2006	488	369	353	210	201	6	0	0	0	0	79	357
2007	68	358	151	376	43	24	0	0	0	49	144	577
2008	269	127	452	45	48	0	0	0	0	181	349	440
2009	553	497	256	464	154	74	0	0	0	7	110	76
2010	445	402	281	585	156	120	113	53	326	233	367	285
2011	197	236	292	314	150	0	0	0	0	55	283	429
2012	371	199	250	0	0	0	3	0	0	42	246	293
2013	391	363	415	165	83	11	0	0	0	0	0	0
Max	553	497	563	585	201	120	113	53	326	233	422	617
Rerata	331	316	341	228	84	31	13	10	44	62	221	370
Min	68	127	151	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Sumber: BBWS Brantas, 2013

Tabel 5.3 Data Curah Hujan Bulanan Sta. Turen (Tumpakrenteng)

TH.	B U L A N											
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
2003	439	226	248	129	135	52	0	0	0	24	419	288
2004	371	526	282	27	58	37	11	0	39	0	347	512
2005	220	230	282	283	0	116	84	0	39	156	150	546
2006	272	266	295	348	152	0	0	0	0	0	89	269
2007	138	328	394	315	148	67	7	0	0	123	109	910
2008	331	198	684	198	63	0	0	31	12	77	337	249
2009	289	392	119	285	139	58	18	0	39	24	118	112
2010	208	563	381	505	166	181	250	90	301	223	423	286
2011	257	270	216	325	84	47	2	0	6	13	258	279
2012	450	338	418	281	82	16	8	0	1	6	161	358
2013	536	311	238	293	110	6	0	0	7	25	106	391
Max	536	563	684	505	166	181	250	90	301	223	423	910
Rerata	319	332	323	272	103	53	35	11	40	61	229	382
Min	138	198	119	27	0	0	0	0	0	0	89	112

Sumber: BBWS Brantas, 2013

Tabel 5.4 Data Curah Hujan Bulanan Sta. Dampit

TA	B U L A N											
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
2003	427	293	281	76	145	17	2	0	37	131	241	271
2004	184	202	397	64	118	0	25	0	167	8	207	478
2005	140	242	289	268	0	140	193	0	185	315	138	600
2006	287	277	282	306	130	0	0	0	0	0	37	343
2007	113	523	430	326	57	11	0	0	0	45	108	772
2008	139	246	431	294	101	0	0	5	0	174	577	226
2009	526	431	172	68	144	42	0	0	84	27	203	154
2010	206	385	420	243	300	121	192	139	221	142	297	396
2011	235	198	232	382	171	9	0	0	0	0	202	264
2012	514	387	485	222	60	30	23	8	6	35	236	475
2013	564	286	245	127	102	0	0	1	10	0	74	421
Max	564	523	485	382	300	140	193	139	221	315	577	772
Rerata	303	315	333	216	121	34	40	14	65	80	211	400
Min	113	198	172	64	0	0	0	0	0	0	37	154

Sumber: BBWS Brantas, 2013

Contoh Perhitungan:

Curah hujan rerata daerah pada bulan Januari tahun 2003 pada masing-masing stasiun hujan sesuai prosentase luas area, seperti pada Tabel 5.5

Tabel 5.5 Curah Hujan pada Bln Januari Tahun 2003

No	Stasiun Hujan	Curah Hujan (mm)	Prosentase Luas Area (%)
1	Poncokusumo	267	0,23
2	Turen (Tumpakrenteng)	439	0,32
3	Dampit	427	0,45

$$\begin{aligned}
 P_{Thie} &= (267 \times 23\%) + (439 \times 32\%) + (427 \times 45\%) \\
 &= 394,04 \text{ mm} \sim 394 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, diketahui curah hujan rerata daerah pada bulan Januari tahun 2003 sebesar 394 mm. Selanjutnya hasil perhitungan secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Curah hujan rerata daerah (mm)

Tahun	BULAN												TAHUN AN
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES	
2003	394	255	263	96	120	26	1	2	22	72	302	356	1.911
2004	289	370	398	54	79	13	20	0	103	9	301	504	2.140
2005	182	234	332	255	2	120	114	12	111	208	149	549	2.268
2006	328	295	302	297	153	1	0	0	0	0	63	323	1.764
2007	111	423	354	334	83	32	2	0	0	71	117	771	2.297
2008	230	203	517	206	77	0	0	12	4	145	448	283	2.124
2009	456	434	174	229	145	54	6	0	50	21	154	123	1.847
2010	262	446	376	406	224	140	192	104	271	189	353	335	3.297
2011	233	230	241	348	138	19	1	0	2	17	239	307	1.774
2012	461	328	410	190	53	19	14	4	3	27	214	396	2.117
2013	515	312	282	189	100	4	0	0	7	8	67	315	1.799
Rerata	315	321	332	237	107	39	32	12	52	70	219	387	2.122
Maks.	515	446	517	406	224	140	192	104	271	208	448	771	3.297
Min.	111	203	174	54	2	0	0	0	0	0	63	123	23.338

Sumber: Hasil Perhitungan

Setelah diketahui hujan rata-rata daerah, langkah berikutnya menentukan rerata jumlah hari hujan wilayah berdasarkan data dari masing-masing stasiun hujan. Hal ini dilakukan karena jumlah hari hujan suatu kawasan sangat berpengaruh terhadap debit andalan suatu wilayah DAS.

Untuk menghitung rerata jumlah hari hujan pada suatu wilayah, langkah perhitungannya dengan mengakumulasi jumlah hari hujan dari masing-masing stasiun hujan yang telah dikalikan prosentase luasan wilayahnya. Data jumlah hari hujan masing-masing stasiun hujan dapat dilihat pada Tabel 5.7 – 5.9.

Dari data jumlah hari hujan yang tersebut diatas, maka untuk menghitung jumlah hari hujan rerata pada wilayah DAS maupun sub DAS dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$H_{Thieseen} = \sum (\text{jumlah hujan bulanan} \times \text{persentase luas stasiun hujan})$$

Dengan:

$$H_{Thieseen} = \text{jumlah hari hujan rerata thieseen (hari)}$$

Tabel 5.7 Jumlah Hari Hujan Stasiun Hujan Poncokusumo (hari)

TH.	B U L A N											
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
2003	16	12	13	6	4	2	0	1	5	5	18	23
2004	21	21	21	9	5	2	4	0	3	2	17	21
2005	17	14	21	13	1	5	1	1	3	10	11	28
2006	21	20	18	17	16	1	0	0	0	0	7	18
2007	6	18	20	17	4	3	0	0	0	2	9	22
2008	21	16	26	9	3	0	0	0	0	13	25	21
2009	27	19	13	17	12	3	0	0	0	1	10	10
2010	23	17	13	22	12	10	8	5	16	14	19	19
2011	19	12	23	22	16	0	0	0	0	5	23	23
2012	24	16	12	0	0	0	1	0	0	6	13	21
2013	15	20	16	14	6	1	0	0	0	0	0	0
Max	27	21	26	22	16	10	8	5	16	14	25	28
Rerata	19	17	18	13	7	2	1	1	2	5	14	19
Min	6	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Sumber: BBWS Brantas, 2013

Tabel 5.8 Jumlah Hari Hujan Stasiun Hujan Turen (Tumpakrenteng) (hari)

TH.	B U L A N											
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
2003	25	19	17	7	8	1	0	0	0	3	14	21
2004	22	19	18	4	5	2	1	0	1	0	13	22
2005	10	11	15	13	0	3	7	0	2	5	6	25
2006	21	22	16	13	9	0	0	0	0	0	6	15
2007	14	22	18	21	10	6	2	0	0	4	11	24
2008	13	18	27	16	8	0	0	3	3	13	19	16
2009	23	21	13	15	10	3	2	0	7	5	11	12
2010	24	19	20	25	16	14	9	6	17	14	18	21
2011	19	17	19	16	11	5	1	0	2	3	18	19
2012	25	14	18	12	5	1	3	0	1	2	11	19
2013	21	18	16	10	2	1	0	0	1	1	12	18
Max	25	22	27	25	16	14	9	6	17	14	19	25
Rerata	20	18	18	14	8	3	2	1	3	5	13	19
Min	10	11	13	4	0	0	0	0	0	0	6	12

Sumber: BBWS Brantas, 2013



Tabel 5.9 Jumlah Hari Hujan Stasiun Hujan Dampit (hari)

TH.	B U L A N											
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
2003	20	17	12	8	5	2	1	0	4	5	13	20
2004	11	18	16	7	6	0	3	0	1	1	14	15
2005	9	14	11	11	0	5	7	0	8	13	6	23
2006	18	14	13	13	9	0	0	0	0	0	1	11
2007	6	18	10	14	5	1	0	0	0	3	4	18
2008	9	13	15	12	5	0	0	1	0	6	17	7
2009	16	13	5	3	8	1	0	0	3	1	6	4
2010	8	12	14	9	17	7	8	5	11	9	10	15
2011	10	12	13	12	7	1	0	0	0	0	12	12
2012	24	14	20	13	8	2	4	3	2	2	13	21
2013	23	19	16	10	3	0	0	1	2	0	8	16
Max	24	19	20	14	17	7	8	5	11	13	17	23
Rerata	14	15	13	10	7	2	2	1	3	4	9	15
Min	6	12	5	3	0	0	0	0	0	0	1	4

Sumber: BBWS Brantas, 2013

Contoh Perhitungan:

Jumlah hari hujan rerata ini diambil pada bulan Januari tahun 2003 pada masing-masing stasiun hujan sesuai prosentase luas area seperti pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Jumlah Hari Hujan pada Bulan Januari Tahun 2003

No	Stasiun Hujan	Jumlah Hujan (hari)	Prosentase Luas Area (%)
1	Poncokusumo	16	0,23
2	Turen (Tumpakrenteng)	25	0,32
3	Dampit	20	0,45

Sumber: BBWS Brantas, 2013

$$\begin{aligned}
 H_{Thie} &= (16 \times 23\%) + (25 \times 32\%) + (20 \times 45\%) \\
 &= 20,7 \text{ hari} \sim 21 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut diketahui jumlah hari hujan rerata wilayah studi pada bulan Januari tahun 2003 sebanyak 21 hari. Untuk mengetahui keseluruhan jumlah hujan rata-rata bulanan setiap tahunnya dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Jumlah Hari Rerata Wilayah (hari)

Tahun	B U L A N												TAHUN AN
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES	
2003	21	16	14	7	6	2	0	0	3	4	14	21	109
2004	17	19	18	7	5	1	3	0	1	1	14	19	105
2005	11	13	15	12	0	4	6	0	5	10	7	25	108
2006	20	18	15	14	11	0	0	0	0	0	4	14	95
2007	9	19	15	17	6	3	1	0	0	3	7	21	101
2008	13	15	21	13	6	0	0	1	1	10	19	13	113
2009	21	17	9	10	10	2	1	0	4	2	9	8	92
2010	17	15	16	17	16	10	8	5	14	12	15	18	162
2011	15	14	17	16	10	2	0	0	1	2	16	17	110
2012	24	14	18	10	5	1	3	1	1	3	12	20	114
2013	21	19	16	11	3	1	0	0	1	0	7	13	93
Max	24	19	21	17	16	10	8	5	14	12	19	25	162
Rerata	17	16	16	12	7	2	2	1	3	4	11	17	109
Min	9	13	9	7	0	0	0	0	0	0	4	8	92

Sumber: Hasil Perhitungan

## 5.2. Analisis Suhu

Dalam studi ini hanya diperoleh nilai temperature bulanan, berdasarkan data klimatologi dari stasiun klimatologi Karangploso, maka untuk menganalisis suhu menggunakan metode Thornthwaite. Data suhu yang diperoleh dari stasiun Klimatologi Karangploso dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Suhu Tahunan

TH	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES
2003	23,7	23,8	23,8	24,2	23,6	22,9	21,0	22,1	23,2	24,0	24,2	23,4
2004	23,7	23,8	23,2	24,3	23,7	22,5	22,5	21,9	23,2	24,3	24,7	23,8
2005	23,8	24,0	24,0	23,8	23,6	23,6	22,5	22,4	23,6	24,2	24,0	23,2
2006	23,9	23,5	23,6	23,8	23,5	22,1	21,8	21,5	22,3	24,2	25,4	24,8
2007	23,8	23,7	23,5	23,8	23,8	23,1	22,2	21,7	22,7	24,4	23,9	23,6
2008	23,6	23,6	23,1	23,6	23,1	22,4	21,5	22,1	23,2	24,7	24,2	23,3
2009	23,5	23,5	23,7	24,3	23,9	23,0	22,1	22,3	23,3	24,4	24,9	24,3
2010	23,8	24,0	24,3	23,9	24,5	23,7	23,2	23,4	23,8	24,1	24,4	23,8
2011	24,1	23,9	23,3	23,4	23,5	22,1	22,0	21,9	22,8	24,3	24,0	24,0
2012	23,5	23,5	23,8	23,8	23,7	22,7	21,6	21,7	23,0	24,6	24,7	23,8
2013	23,4	23,0	23,1	22,6	23,5	23,3	21,5	22,4	22,7	23,6	23,6	23,6
Rerata	23,7	23,7	23,6	23,8	23,7	22,9	22,0	22,1	23,1	24,2	24,4	23,8
Maks	24,1	24,0	24,3	24,3	24,5	23,7	23,2	23,4	23,8	24,7	25,4	24,8
Min	23,4	23,0	23,1	22,6	23,1	22,1	21,0	21,5	22,3	23,6	23,6	23,2

Sumber: BMKG Karangploso, 2013

Mengingat lokasi stasiun klimatologi Karangploso yang letaknya jauh dari lokasi studi, maka perlu dilakukan konversi suhu untuk mendapatkan suhu yang mendekati kenyataan. Ada beberapa parameter yang mempengaruhi nilai konversi suhu antara lain:

### 5.2.1. Perbedaan Suhu Antara Stasiun Penakar Hujan

Semakin tinggi letak suatu wilayah, maka berpengaruh terhadap kelembaban suhu setempat. Untuk mengetahui suhu sesungguhnya di suatu wilayah dilakukan perhitungan menggunakan metode FJ. Mock (1973), dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta t = 0,006 (z_1 - z_2)^{\circ}\text{C}$$

Dengan:

$\Delta t$  = perbedaan suhu antara stasiun pengukuran dengan stasiun pengukuran yang di analisa ( $^{\circ}\text{C}$ )

$z_1$  = elevasi stasiun pengukuran suhu (m)

$z_2$  = elevasi stasiun hujan yang dianalisa (m)

Stasiun klimatologi Karangploso menjadi acuan dalam menentukan perbedaan suhu dengan ketinggian 575 m diatas permukaan laut (dpl). Ketinggian stasiun hujan Poncokusuko, Turen dan Dampit berturut-turut adalah 508 m; 300m dan 645m. Berikut ini perhitungan perbedaan suhu ( $\Delta t$ ) pada masing-masing stasiun hujan.

Contoh Perhitungan:

Untuk contoh perhitungan perbedaan suhu dipilih lokasi stasiun hujan Poncokusumo, dengan data sebagai berikut:

- Ketinggian stasiun Poncokusumo ( $z_2$ ) = 508 m;
- Ketinggian stasiun klimatologi Karangploso( $z_1$ ) = 575 m;

maka, diperoleh perbedaan suhu antara dua stasiun tersebut adalah

$$\begin{aligned}\Delta t \text{ Sta. Poncokusumo} &= 0,006 \times (575-508)^{\circ}\text{C} \\ &= 0,402 ^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

Hasil perhitungan perbedaan suhu masing-masing stasiun hujan dapat dilihat pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13. Perbedaan Suhu

NO	POS HUJAN	z1	z2	$\Delta t$
	Karangploso	575		0,000
1	Poncokusumo		608	-0,198
2	Turen (Tumpakrenteng)		391	1,104
3	Dampit		593	-0,108

Ket.

$$* \Delta t = 0,006 (z_1 - z_2) \text{ } ^\circ\text{C}$$

Sumber: Hasil Perhitungan

### 5.2.2. Pendugaan Suhu Stasiun Hujan

Setelah perbedaan suhu pada masing-masing stasiun hujan, maka langkah berikutnya adalah menghitung suhu yang mendekati kenyataan di lapangan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Suhu real} = \text{suhu stasiun klimatologi} + \text{perbedaan suhu } (\Delta t)$$

Contoh Perhitungan

Sebagai contoh perhitungan pendugaan suhu dipilih stasiun Poncokusumo pada bulan Januari tahun 2003 yang dikonversikan terhadap suhu rata-rata bulanan pada stasiun klimatologi Karangploso sesuai Tabel 5.12.

Berdasarkan Tabel 5.13 diketahui perbedaan suhu ( $\Delta t$ ) pada stasiun hujan Poncokusumo terhadap stasiun klimatologi Karangploso adalah  $-0,198 \text{ } ^\circ\text{C}$ , maka hasil pendugaan suhu pada stasiun hujan Poncokusumo pada bulan Januari tahun 2003 adalah:

- Suhu pada bulan Januari tahun 2003 pada stasiun klimatologi Karangploso diketahui  $23,7 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Perbedaan suhu ( $\Delta t$ ) pada stasiun hujan Poncokusumo diketahui  $-0,198 \text{ } ^\circ\text{C}$

maka:  $\text{suhu} + \Delta t$

$$= 23,7 \text{ } ^\circ\text{C} + -0,198 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 23,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Dari hasil perhitungan tersebut, diketahui bahwa suhu rata-rata di daerah studi pada bulan Januari tahun 2003 berkisar 23,5 °C. hasil selengkapnya pendugaan suhu pada masing-masing stasiun hujan dapat dilihat pada Tabel 5.14-5.16.

Tabel 5.14 Pendugaan Suhu Sta. Poncokusumo (Tm) °C

TH	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES
2003	23,5	23,6	23,6	24,0	23,4	22,7	20,8	21,9	23,0	23,8	24,0	23,2
2004	23,5	23,6	23,0	24,1	23,5	22,3	22,3	21,7	23,0	24,1	24,5	23,6
2005	23,6	23,8	23,8	23,6	23,4	23,4	22,3	22,2	23,4	24,0	23,8	23,0
2006	23,7	23,3	23,4	23,6	23,3	21,9	21,6	21,3	22,1	24,0	25,2	24,6
2007	23,6	23,5	23,3	23,6	23,6	22,9	22,0	21,5	22,5	24,2	23,7	23,4
2008	23,4	23,4	22,9	23,4	22,9	22,2	21,3	21,9	23,0	24,5	24,0	23,1
2009	23,3	23,3	23,5	24,1	23,7	22,8	21,9	22,1	23,1	24,2	24,7	24,1
2010	23,6	23,8	24,1	23,7	24,3	23,5	23,0	23,2	23,6	23,9	24,2	23,6
2011	23,9	23,7	23,1	23,2	23,3	21,9	21,8	21,7	22,6	24,1	23,8	23,8
2012	23,3	23,3	23,6	23,6	23,5	22,5	21,4	21,5	22,8	24,4	24,5	23,6
2013	23,2	22,8	22,9	22,4	23,3	23,1	21,3	22,2	22,5	23,4	23,4	23,4
Rerata	23,5	23,5	23,4	23,6	23,5	22,7	21,8	21,9	22,9	24,1	24,2	23,6
Maks	23,9	23,8	24,1	24,1	24,3	23,5	23,0	23,2	23,6	24,5	25,2	24,6
Min	23,2	22,8	22,9	22,4	22,9	21,9	20,8	21,3	22,1	23,4	23,4	23,0

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 5.15 Pendugaan Suhu Sta Turen (Tm) °C

TH	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES
2003	24,8	24,9	24,9	25,3	24,7	24,0	22,1	23,2	24,3	25,1	25,3	24,5
2004	24,8	24,9	24,3	25,4	24,8	23,6	23,6	23,0	24,3	25,4	25,8	24,9
2005	24,9	25,1	25,1	24,9	24,7	24,7	23,6	23,5	24,7	25,3	25,1	24,3
2006	25,0	24,6	24,7	24,9	24,6	23,2	22,9	22,6	23,4	25,3	26,5	25,9
2007	24,9	24,8	24,6	24,9	24,9	24,2	23,3	22,8	23,8	25,5	25,0	24,7
2008	24,7	24,7	24,2	24,7	24,2	23,5	22,6	23,2	24,3	25,8	25,3	24,4
2009	24,6	24,6	24,8	25,4	25,0	24,1	23,2	23,4	24,4	25,5	26,0	25,4
2010	24,9	25,1	25,4	25,0	25,6	24,9	24,3	24,5	24,9	25,2	25,5	24,9
2011	25,2	25,0	24,4	24,5	24,6	23,2	23,1	23,0	23,9	25,4	25,1	25,1
2012	24,6	24,6	24,9	24,9	24,8	23,8	22,7	22,8	24,1	25,7	25,8	24,9
2013	24,5	24,1	24,2	23,7	24,6	24,4	22,6	23,5	23,8	24,7	24,7	24,7
Rerata	24,8	24,8	24,7	24,9	24,8	24,0	23,1	23,2	24,2	25,4	25,5	24,9
Maks	25,2	25,1	25,4	25,4	25,6	24,9	24,3	24,5	24,9	25,8	26,5	25,9
Min	24,5	24,1	24,2	23,7	24,2	23,2	22,1	22,6	23,4	24,7	24,7	24,3

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 5.16 Pendugaan Suhu Sta. Dampit (Tm) °C

TH	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES
2003	23,6	23,7	23,7	24,1	23,5	22,8	20,9	22,0	23,1	23,9	24,1	23,3
2004	23,6	23,7	23,1	24,2	23,6	22,4	22,4	21,8	23,1	24,2	24,6	23,7
2005	23,7	23,9	23,9	23,7	23,5	23,5	22,4	22,3	23,5	24,1	23,9	23,1
2006	23,8	23,4	23,5	23,7	23,4	22,0	21,7	21,4	22,2	24,1	25,3	24,7
2007	23,7	23,6	23,4	23,7	23,7	23,0	22,1	21,6	22,6	24,3	23,8	23,5
2008	23,5	23,5	23,0	23,5	23,0	22,3	21,4	22,0	23,1	24,6	24,1	23,2
2009	23,4	23,4	23,6	24,2	23,8	22,9	22,0	22,2	23,2	24,3	24,8	24,2
2010	23,7	23,8	24,2	23,8	24,4	23,6	23,1	23,3	23,6	23,9	24,3	23,7
2011	24,0	23,8	23,2	23,3	23,4	22,0	21,9	21,8	22,7	24,2	23,9	23,9
2012	23,4	23,4	23,7	23,7	23,6	22,6	21,5	21,6	22,9	24,5	24,6	23,7
2013	23,3	22,9	23,0	22,5	23,4	23,2	21,4	22,3	22,6	23,5	23,5	23,5
Rerata	23,6	23,6	23,5	23,7	23,6	22,8	21,9	22,0	23,0	24,1	24,3	23,7
Maks	24,0	23,9	24,2	24,2	24,4	23,6	23,1	23,3	23,6	24,6	25,3	24,7
Min	23,3	22,9	23,0	22,5	23,0	22,0	20,9	21,4	22,2	23,5	23,5	23,1

Sumber: Hasil Perhitungan

### 5.3. Evapotranspirasi Potensial (ET<sub>o</sub>)

Dalam penelitian ini untuk menghitung evapotranspirasi potensial menggunakan metode Thornthwaite, dimana nilai evapotranspirasi potensial dipengaruhi oleh temperature udara, intensitas penyinaran matahari dan letak koordinat. Metode ini mengusulkan perhitungan evapotranspirasi potensial dari data suhu udara rata-rata bulanan, standar bulan 30 hari dan jam penyinarannya 12 jam. Berikut persamaannya:

$$ET_{ox} = 16 \times \left( \frac{10 T_m}{I} \right)^a$$

$$ET_{ox} = f \times ET_{ox}$$

$$I = \sum_{m=1}^{12} \left( \frac{T_m}{5} \right)^{1,514}$$

$$a = (6,75 \cdot 10^{-7}) \cdot I^3 - (7,71 \cdot 10^{-5}) \cdot I^2 + (1,792 \cdot 10^{-2}) \cdot I + 0,49239$$

Dimana:

$T_m$  = suhu udara rata-rata bulanan ( $^{\circ}\text{C}$ )

$f$  = koefisien penyesuaian hubungan antara jumlah jam dan hari terang berdasarkan lokasi.

$I$  = indeks panas tahunan.

$ET_{ox}$  = evapotranspirasi potensial yang belum disesuaikan faktor  $f$  (mm/bulan)

$ET_o$  = evapotranspirasi potensial (mm/bulan)

### 5.3.1. Indeks Panas Tahunan (I)

Untuk memperoleh nilai indeks panas tahunan (I) dilakukan komulatif nilai indeks bulanan per tahunnya.

Contoh perhitungan

Berdasarkan pendugaan suhu pada Sta. Poncokusumo pada Tabel 5.14, maka nilai indeks panas bulanan (i) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$I = \left( \frac{T_m}{5} \right)^{1,514}$$

Sebagai contoh perhitungan pada bulan Januari tahun 2003, diperoleh nilai indeks bulanan (i) sebagai berikut:

$$i = (23.5/5)^{1.514}$$

$$i = 10,4$$

Nilai indek panas tahunan (I) dilakukan komulatif nilai indeks panas bulanan pertahunnya. Berikut ini nilai indeks panas bulanan pada Sta. Poncokusumo seperti pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Nilai Indeks Panas Bulanan Sta. Poncokusumo tahun 2003

TH	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES	I
2003	10,4	10,5	10,5	10,8	10,3	9,9	8,7	9,4	10,1	10,6	10,8	10,2	122,03

Sumber: Hasil Perhitungan

Langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai a sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 a &= (6,75 \cdot 10^{-7}) \cdot I^3 - (7,71 \cdot 10^{-5}) \cdot I^2 + (1,792 \cdot 10^{-2}) \cdot I + 0,49239 \\
 &= (6,75 \cdot 10^{-7}) \cdot 122,03^3 - (7,71 \cdot 10^{-5}) \cdot 122,03^2 + (1,792 \cdot 10^{-2}) \cdot 122,03 \\
 &\quad + 0,49239 \\
 &= 2,76
 \end{aligned}$$

Hasil selengkapnya dari analisa indeks panas tahunan (I) dan nilai a setiap tahunnya dapat dilihat pada Tabel 5.18-5.20

Tabel 5.18 Nilai Indeks Panas Tahunan (I) dan Nilai a Sta. Poncokusumo

TH	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES	I	a
2003	10,4	10,5	10,5	10,8	10,3	9,9	8,7	9,4	10,1	10,6	10,8	10,2	122,03	2,76
2004	10,4	10,5	10,1	10,8	10,4	9,6	9,6	9,2	10,1	10,8	11,1	10,5	123,15	2,79
2005	10,5	10,6	10,6	10,5	10,3	10,3	9,6	9,6	10,3	10,8	10,6	10,1	123,86	2,81
2006	10,5	10,3	10,3	10,5	10,3	9,4	9,2	9,0	9,5	10,8	11,6	11,2	122,41	2,77
2007	10,5	10,4	10,3	10,5	10,5	10,0	9,4	9,1	9,8	10,9	10,5	10,3	122,21	2,76
2008	10,3	10,3	10,0	10,3	10,0	9,6	9,0	9,4	10,1	11,1	10,8	10,1	121,03	2,73
2009	10,3	10,3	10,4	10,8	10,5	9,9	9,4	9,5	10,1	10,9	11,2	10,8	124,22	2,82
2010	10,5	10,6	10,8	10,5	11,0	10,4	10,1	10,2	10,5	10,7	10,9	10,5	126,60	2,90
2011	10,7	10,6	10,2	10,2	10,3	9,4	9,3	9,2	9,8	10,8	10,6	10,6	121,71	2,75
2012	10,3	10,3	10,5	10,5	10,4	9,8	9,1	9,1	10,0	11,0	11,1	10,5	122,41	2,77
2013	10,2	9,9	10,0	9,7	10,3	10,1	9,0	9,6	9,8	10,3	10,3	10,3	119,61	2,69

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 5.19 Nilai Indeks Panas Tahunan (I) dan Nilai a Sta. Turen

TH	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES	I	a
2003	11,30	11,37	11,37	11,65	11,23	10,75	9,49	10,21	10,96	11,51	11,65	11,09	132,58	3,09
2004	11,30	11,37	10,96	11,72	11,30	10,48	10,48	10,08	10,96	11,72	12,00	11,37	133,72	3,12
2005	11,37	11,51	11,51	11,37	11,23	11,23	10,48	10,42	11,23	11,65	11,51	10,96	134,45	3,15
2006	11,44	11,16	11,23	11,37	11,16	10,21	10,02	9,82	10,35	11,65	12,49	12,07	132,96	3,10
2007	11,37	11,30	11,16	11,37	11,37	10,89	10,28	9,95	10,62	11,79	11,44	11,23	132,76	3,09
2008	11,23	11,23	10,89	11,23	10,89	10,42	9,82	10,21	10,96	12,00	11,65	11,02	131,54	3,05
2009	11,16	11,16	11,30	11,72	11,44	10,82	10,21	10,35	11,02	11,79	12,14	11,72	134,83	3,16
2010	11,37	11,47	11,73	11,41	11,89	11,33	10,94	11,07	11,34	11,54	11,79	11,38	137,28	3,25
2011	11,57	11,44	11,05	11,10	11,19	10,24	10,13	10,08	10,71	11,71	11,54	11,49	132,24	3,07
2012	11,18	11,18	11,34	11,37	11,27	10,62	9,91	9,93	10,83	11,93	12,01	11,39	132,96	3,10
2013	11,09	10,82	10,89	10,55	11,16	11,02	9,82	10,42	10,62	11,23	11,23	11,23	130,08	3,00

Sumber: Hasil Perhitungan



Tabel 5.20 Nilai Indeks Panas Tahunan (I) dan Nilai a Sta. Turen

TH	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES	I	a
2003	10,5	10,5	10,5	10,8	10,4	9,9	8,7	9,4	10,1	10,7	10,8	10,3	122,75	2,78
2004	10,5	10,5	10,1	10,9	10,5	9,7	9,7	9,3	10,1	10,9	11,2	10,5	123,87	2,81
2005	10,5	10,7	10,7	10,5	10,4	10,4	9,7	9,6	10,4	10,8	10,7	10,1	124,58	2,83
2006	10,6	10,3	10,4	10,5	10,3	9,4	9,2	9,0	9,5	10,8	11,6	11,2	123,13	2,79
2007	10,5	10,5	10,3	10,5	10,5	10,1	9,5	9,2	9,8	10,9	10,6	10,4	122,93	2,78
2008	10,4	10,4	10,1	10,4	10,1	9,6	9,0	9,4	10,1	11,2	10,8	10,2	121,74	2,75
2009	10,3	10,3	10,5	10,9	10,6	10,0	9,4	9,5	10,2	10,9	11,3	10,9	124,94	2,84
2010	10,5	10,6	10,9	10,6	11,0	10,5	10,1	10,3	10,5	10,7	11,0	10,5	127,33	2,92
2011	10,7	10,6	10,2	10,3	10,4	9,4	9,3	9,3	9,9	10,9	10,7	10,7	122,43	2,77
2012	10,4	10,4	10,5	10,5	10,4	9,8	9,1	9,1	10,0	11,1	11,2	10,6	123,13	2,79
2013	10,3	10,0	10,1	9,7	10,3	10,2	9,0	9,6	9,8	10,4	10,4	10,4	120,32	2,71

Sumber: Hasil Perhitungan

### 5.3.2. Evapotranspirasi Potensial Belum Disesuaikan Garis Bujur dan Bulan ( $ET_{ox}$ )

Sebelum mendapatkan nilai evapotranspirasi potensial ( $ET_o$ ) yang sesuai dengan kondisi sesungguhnya di kawasan tertentu, maka nilai  $ET_o$  harus di konversikan terlebih dahulu terhadap nilai suhu udara rata-rata bulanan ( $T_m$ ), indeks panas tahunan ( $I$ ) dan nilai  $a$ . untuk menghitung  $ET_{ox}$ , menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$ET_{ox} = 16 \times \left( \frac{10 T_m}{I} \right)^a$$

Perhitungan  $ET_o$  yang belum disesuaikan garis bujur dan bulan ( $ET_{ox}$ ) masing-masing stasiun hujan dapat dianalisis sebagai berikut:

Contoh Perhitungan:

Sebagai contoh Sta. Poncokusumo. Dengan berpedoman pada pendugaan suhu (Tabel 5.14), nilai indeks panas tahunan (Tabel 5.18) dan nilai  $a$ , maka perhitungan nilai  $ET_{ox}$  pada bulan Januari tahun 2003 dapat dihitung:

$$ET_{ox} = 16 \times ((10 \times 23,5)/122,03)^{2,76}$$

$$ET_{ox} = 97,5 \text{ mm}$$

Nilai  $ET_{ox}$  tersebut belum merupakan nilai evapotranspirasi potensial sesungguhnya di suatu kawasan. Nilai ini nantinya akan dikonversikan dengan koefisien penyesuaian menurut bujur dan bulan (Tabel 2.3), sehingga akan diperoleh nilai evapotranspirasi potensial yang mendekati sesungguhnya pada

suatu kawasan. Untuk perhitungan selanjutnya nilai  $ET_{ox}$  pada stasiun hujan masing-masing dapat dilihat pada Tabel 5.21-5.23

Tabel 5.21 Evapotranspirasi Potensial Belum Disesuaikan Garis Bujur (f)

Sta. Poncokusumo (mm)

TH	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES
2003	97,5	98,7	98,7	103,3	96,4	88,6	69,6	80,3	91,9	101,0	103,3	94,1
2004	97,1	98,3	91,5	104,2	97,1	83,9	83,9	77,8	91,5	104,2	109,1	98,3
2005	98,1	100,4	100,4	98,1	95,7	95,7	83,6	82,6	95,7	102,8	100,4	91,2
2006	99,7	95,1	96,2	98,5	95,1	80,1	77,1	74,2	82,2	103,2	118,2	110,5
2007	98,6	97,5	95,2	98,6	98,6	90,7	81,2	76,2	86,4	105,7	99,8	96,3
2008	96,7	96,7	91,2	96,7	91,2	83,8	74,8	80,7	92,3	109,6	103,6	93,4
2009	94,5	94,5	96,8	103,9	99,1	88,8	79,3	81,4	92,2	105,1	111,4	103,9
2010	97,2	98,9	103,5	97,8	106,3	96,5	89,9	92,1	96,6	100,1	104,6	97,2
2011	102,1	100,0	93,5	94,4	95,8	80,8	79,2	78,3	88,0	104,5	101,6	100,8
2012	95,4	95,4	98,1	98,5	96,9	86,4	75,6	75,9	89,7	108,1	109,5	98,9
2013	95,0	90,6	91,7	86,4	96,1	93,9	75,5	84,4	87,5	97,2	97,2	97,2

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 5.22 Evapotranspirasi Potensial Belum Disesuaikan Garis Bujur (f)

Sta. Turen (mm)

TH	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES
2003	110,6	112,0	112,0	117,6	109,2	99,9	77,5	90,0	103,8	114,8	117,6	106,5
2004	110,2	111,6	103,4	118,8	110,2	94,4	94,4	87,1	103,4	118,8	124,7	111,6
2005	111,4	114,3	114,3	111,4	108,6	108,6	94,1	92,9	108,6	117,2	114,3	103,2
2006	113,2	107,7	109,1	111,9	107,7	89,8	86,3	82,8	92,3	117,5	135,7	126,4
2007	111,9	110,5	107,8	111,9	111,9	102,5	91,1	85,2	97,3	120,5	113,3	109,2
2008	109,5	109,5	102,9	109,5	102,9	94,1	83,5	90,5	104,2	125,1	117,8	105,5
2009	107,1	107,1	109,9	118,5	112,7	100,4	89,0	91,5	104,4	120,0	127,6	118,5
2010	110,7	112,8	118,3	111,4	121,7	109,8	101,9	104,5	110,0	114,2	119,6	110,7
2011	116,0	113,5	105,8	106,8	108,4	90,6	88,7	87,7	99,2	118,9	115,5	114,5
2012	108,0	108,1	111,3	111,8	109,9	97,3	84,5	84,8	101,3	123,4	125,1	112,3
2013	107,3	102,1	103,4	97,1	108,6	106,0	84,2	94,6	98,3	109,9	109,9	109,9

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 5.23 Evapotranspirasi Potensial Belum Disesuaikan Garis Bujur (f)  
Sta. Dampit (mm)

TH	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES
2003	98,3	99,5	99,5	104,2	97,2	89,3	70,1	80,9	92,6	101,8	104,2	94,9
2004	97,9	99,1	92,2	105,1	97,9	84,6	84,6	78,3	92,2	105,1	110,1	99,1
2005	98,9	101,3	101,3	98,9	96,5	96,5	84,3	83,2	96,5	103,7	101,3	91,9
2006	100,5	95,9	97,0	99,3	95,9	80,7	77,7	74,7	82,8	104,1	119,2	111,5
2007	99,4	98,2	95,9	99,4	99,4	91,4	81,8	76,8	87,1	106,6	100,6	97,1
2008	97,5	97,5	91,9	97,5	91,9	84,4	75,4	81,3	93,0	110,6	104,5	94,1
2009	95,2	95,2	97,6	104,8	99,9	89,6	79,9	82,0	92,9	106,0	112,4	104,8
2010	98,0	99,7	104,4	98,7	107,2	97,3	90,6	92,8	97,4	101,0	105,5	98,1
2011	102,9	100,8	94,3	95,2	96,5	81,4	79,8	78,9	88,7	105,4	102,5	101,6
2012	96,1	96,2	98,9	99,3	97,7	87,0	76,1	76,4	90,5	109,0	110,5	99,7
2013	95,7	91,3	92,4	87,1	96,8	94,6	76,0	85,0	88,1	98,0	98,0	98,0

Sumber: Hasil Perhitungan

### 5.3.3. Koefisien Penyesuaian Bujur dan Bulan Setiap Stasiun

Untuk menentukan koefisien penyesuaian bujur dan bulan setiap stasiun hujan, maka diperlukan table koefisien penyesuaian seperti Tabel 5.25

Data koordinat masing-masing stasiun hujan dapat dilihat pada Tabel 5.24

Tabel 5.24 Koordinat Stasiun Hujan

NO	POS HUJAN	Garis Bujur (X)	Garis Lintang (Y)
1	Poncokusumo	112,76592	-8,0378
2	Turen (Tumpakrenteng)	112,68606	-8,1024
3	Dampit	112,73257	-8,2052

Sumber: BBWS Brantas, 2013

Tabel 5.25 Koefisien Penyesuaian Menurut Bujur dan Bulan

Bujur / Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agus	Sept	Okt	Nov	Des
50	0,74	0,78	1,02	1,15	1,33	1,36	1,37	1,25	1,06	0,92	0,76	0,70
49	0,75	0,79	1,02	1,14	1,32	1,34	1,35	1,24	1,05	0,93	0,76	0,71
48	0,76	0,8	1,02	1,14	1,31	1,33	1,34	1,23	1,05	0,93	0,77	0,72
47	0,77	0,8	1,02	1,14	1,3	1,32	1,33	1,22	1,04	0,93	0,78	0,73
46	0,79	0,81	1,02	1,13	1,29	1,31	1,32	1,22	1,04	0,94	0,79	0,74
45	0,8	0,81	1,02	1,13	1,28	1,29	1,31	1,21	1,04	0,94	0,79	0,75
44	0,81	0,82	1,02	1,13	1,27	1,29	1,3	1,2	1,04	0,95	0,8	0,76
43	0,81	0,82	1,02	1,12	1,26	1,28	1,29	1,2	1,04	0,95	0,81	0,77
42	0,82	0,83	1,03	1,12	1,26	1,27	1,28	1,19	1,04	0,95	0,82	0,79
41	0,83	0,83	1,03	1,11	1,25	1,26	1,27	1,19	1,04	0,96	0,82	0,8
40	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81
39	0,85	0,84	1,03	1,11	1,23	1,24	1,26	1,18	1,04	0,96	0,84	0,82
38	0,85	0,84	1,03	1,1	1,23	1,23	1,25	1,17	1,04	0,96	0,84	0,83
37	0,86	0,84	1,03	1,1	1,22	1,23	1,25	1,17	1,03	0,97	0,85	0,83
36	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	1,03	0,97	0,86	0,84
35	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	1,03	0,97	0,86	0,85
34	0,88	0,85	1,03	1,09	1,2	1,2	1,22	1,16	1,03	0,97	0,87	0,86
33	0,88	0,86	1,03	1,09	1,19	1,2	1,22	1,15	1,03	0,97	0,88	0,86
32	0,89	0,86	1,03	1,08	1,19	1,19	1,21	1,15	1,03	0,98	0,88	0,87
31	0,9	0,87	1,03	1,08	1,18	1,18	1,2	1,14	1,03	0,98	0,89	0,88
30	0,9	0,87	1,03	1,08	1,18	1,17	1,2	1,14	1,03	0,98	0,89	0,88
29	0,91	0,87	1,03	1,07	1,17	1,16	1,19	1,13	1,03	0,98	0,9	0,89
28	0,91	0,88	1,03	1,07	1,16	1,16	1,18	1,13	1,02	0,98	0,9	0,9
27	0,92	0,88	1,03	1,07	1,16	1,15	1,18	1,13	1,02	0,99	0,9	0,9
26	0,92	0,88	1,03	1,06	1,15	1,15	1,17	1,12	1,02	0,99	0,91	0,91
25	0,93	0,89	1,03	1,06	1,15	1,14	1,17	1,12	1,02	0,99	0,91	0,91
20	0,95	0,9	1,03	1,05	1,13	1,11	1,14	1,11	1,02	1	0,93	0,94
15	0,97	0,91	1,03	1,04	1,11	1,08	1,12	1,08	1,02	1,01	0,95	0,97
10	1	0,91	1,03	1,03	1,08	1,06	1,08	1,07	1,01	1,02	0,98	0,99
5	1,02	0,93	1,03	1,02	1,06	1,03	1,06	1,05	1,01	1,03	0,99	1,02
0	1,04	0,94	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04	1,04	1	1,04	1,01	1,04
-5	1,06	0,95	1,04	1	1,02	0,99	1,02	1,03	1	1,05	1,03	1,06
-10	1,08	0,97	1,05	0,99	1,01	0,96	1	1,01	1	1,06	1,05	1,1
-15	1,12	0,98	1,05	0,98	0,98	0,94	0,97	1	1	1,07	1,07	1,12
-20	1,14	1	1,05	0,97	0,96	0,91	0,95	0,99	1	1,08	1,09	1,15
-25	1,17	1,01	1,05	0,96	0,94	0,88	0,93	0,98	1	1,1	1,11	1,18
-30	1,2	1,03	1,06	0,95	0,92	0,85	0,9	0,96	1	1,12	1,14	1,21
-35	1,23	1,04	1,06	0,94	0,89	0,82	0,87	0,94	1	1,13	1,17	1,25
-40	1,27	1,06	1,07	0,93	0,86	0,78	0,84	0,92	1	1,15	1,2	1,29
-42	1,28	1,07	1,07	0,92	0,85	0,76	0,82	0,92	1	1,16	1,22	1,31
-44	1,3	1,08	1,07	0,92	0,83	0,74	0,81	0,91	0,99	1,17	1,23	1,33
-46	1,32	1,1	1,07	0,91	0,82	0,72	0,79	0,9	0,99	1,17	1,25	1,35
-48	1,34	1,11	1,08	0,9	0,8	0,7	0,76	0,89	0,99	1,18	1,27	1,37
-50	1,37	1,12	1,08	0,89	0,77	0,67	0,74	0,88	0,99	1,19	1,29	1,41

Sumber: Sasrodarsono dan Takeda, 2003

Contoh Perhitungan:

Sebagai contoh Sta.Poncokusumo, berdasarkan Tabel 5.25 terletak pada garis lintang -8.0378, dengan melihat Tabel 5.24 garis lintang terletak antara -5 = 1.06 dan -10 = 1.08.

Cara interpolasi :

$$Y = Y_1 + ((X - X_1) / (X_2 - X_1)) * (Y_2 - Y_1)$$

$$Y = 1.06 + ((8.0378 - 5) / (10 - 5)) \times (1.08 - 1.06)$$

$$Y = 1.040$$

Dengan melakukan interpolasi diperoleh nilai 1,040. Perhitungan selengkapnya koefisien penyesuaian menurut garis lintang pada masing-masing stasiun hujan dilihat pada Tabel 5.26.

Tabel 5.26 Koefisien Penyesuaian Menurut Garis Lintang/Bujur (f)

NO	POS HUJAN	Y	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun
1	Poncokusumo	-8,0378	1,072	0,962	1,046	0,994	1,014	0,972
2	Turen (Tumpakrenteng)	-8,1024	1,072	0,962	1,046	0,994	1,014	0,971
3	Dampit	-8,2052	1,073	0,963	1,046	0,994	1,014	0,971

Lanjutan

NO	POS HUJAN	Y	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
1	Poncokusumo	-8,0378	1,008	1,018	1,000	1,056	1,042	1,084
2	Turen (Tumpakrenteng)	-8,1024	1,008	1,018	1,000	1,056	1,042	1,085
3	Dampit	-8,2052	1,007	1,017	1,000	1,056	1,043	1,086

Sumber: Hasil Perhitungan

### 5.3.4. Evapotranspirasi Potensial (ET<sub>o</sub>) Wilayah

Untuk menghitung nilai evapotranspirasi potensial (ET<sub>o</sub>) wilayah, perlu dikonversikan nilai evapotranspirasi potensial yang ada dengan koefisien penyesuaian menurut garis lintang/bujur. Untuk mengkonversi nilai evapotranspirasi potensial menggunakan persamaan:

$$ET_o = f \cdot ET_{ox}$$

Contoh Perhitungan:

Pada Sta. Poncokusumo, berdasarkan Tabel 5.22 di bulan Januari tahun 2003 diketahui nilai  $E_{Tox}$  adalah 97,5 mm dan pada Tabel 5.26 nilai koefisien “f” adalah 1,072, maka dapat dihitung:

$$\begin{aligned} E_{To} &= 1,072 \times 97,5 \\ &= 104,55 \text{ mm} \end{aligned}$$

Untuk hasil konversi seluruhnya pada masing-masing stasiun hujan dapat dilihat pada Tabel 5.27-5.29.

Tabel 5.27. Evapotranspirasi Potensial ( $E_{To}$ ) Sta. Poncokusumo (mm)

TH	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES
2003	104,55	94,92	103,20	102,71	97,71	86,13	70,19	81,71	91,90	106,64	107,69	102,05
2004	104,14	94,57	95,69	103,58	98,49	81,55	84,58	79,16	91,48	110,06	113,71	106,58
2005	105,13	96,61	105,04	97,46	97,07	93,03	84,27	84,04	95,74	108,56	104,64	98,90
2006	106,89	91,51	100,67	97,94	96,43	77,85	77,72	75,51	82,15	109,02	123,14	119,85
2007	105,71	93,76	99,56	98,00	99,97	88,17	81,85	77,58	86,42	111,61	103,96	104,43
2008	103,69	93,05	95,38	96,12	92,45	81,41	75,42	82,16	92,27	115,77	108,00	101,24
2009	101,27	90,88	101,22	103,27	100,49	86,34	79,93	82,82	92,19	111,02	116,06	112,66
2010	104,20	95,16	108,27	97,23	107,73	93,75	90,61	93,72	96,59	105,75	108,96	105,43
2011	109,43	96,23	97,83	93,83	97,08	78,55	79,80	79,74	88,01	110,34	105,89	109,31
2012	102,24	91,82	102,62	97,92	98,30	83,93	76,18	77,21	89,74	114,13	114,15	107,25
2013	101,82	87,20	95,93	85,89	97,41	91,22	76,07	85,87	87,46	102,63	101,28	105,38

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 5.28. Evapotranspirasi Potensial ( $E_{To}$ ) Sta. Turen (mm)

TH	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES
2003	118,58	107,75	117,13	116,87	110,71	97,08	78,07	91,59	103,84	121,21	122,59	115,53
2004	118,23	107,44	108,23	118,06	111,77	91,72	95,14	88,66	103,45	125,47	130,02	121,11
2005	119,50	109,98	119,55	110,74	110,14	105,53	94,84	94,51	108,64	123,75	119,12	111,95
2006	121,45	103,68	114,13	111,16	109,22	87,27	86,95	84,30	92,27	124,12	141,41	137,08
2007	120,01	106,37	112,77	111,21	113,45	99,53	91,83	86,72	97,32	127,23	118,11	118,41
2008	117,44	105,39	107,64	108,83	104,30	91,38	84,13	92,04	104,18	132,11	122,82	114,45
2009	114,90	103,11	115,00	117,81	114,30	97,53	89,70	93,08	104,41	126,77	133,04	128,60
2010	118,69	108,52	123,81	110,76	123,36	106,67	102,66	106,34	109,96	120,67	124,69	120,12
2011	124,42	109,28	110,64	106,14	109,92	88,05	89,36	89,23	99,17	125,63	120,37	124,22
2012	115,86	104,05	116,47	111,13	111,46	94,49	85,13	86,31	101,30	130,31	130,45	121,83
2013	115,03	98,25	108,14	96,48	110,08	102,92	84,80	96,31	98,32	116,09	114,58	119,24

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 5.29. Evapotranspirasi Potensial (ET<sub>o</sub>) Sta. Dampit (mm)

TH	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES
2003	105,47	95,77	104,09	103,54	98,47	86,71	70,63	82,27	92,63	107,56	108,67	103,00
2004	105,06	95,42	96,49	104,43	99,26	82,09	85,17	79,69	92,21	111,03	114,77	107,59
2005	106,07	97,49	105,95	98,24	97,84	93,70	84,87	84,63	96,52	109,52	105,59	99,81
2006	107,84	92,31	101,53	98,71	97,18	78,35	78,23	76,00	82,77	109,97	124,32	121,04
2007	106,65	94,60	100,40	98,77	100,76	88,78	82,41	78,09	87,09	112,59	104,89	105,41
2008	104,59	93,87	96,16	96,87	93,14	81,94	75,90	82,72	93,00	116,80	108,97	102,17
2009	102,17	91,69	102,10	104,12	101,30	86,94	80,47	83,39	92,94	112,01	117,17	113,77
2010	105,14	96,04	109,25	98,02	108,65	94,44	91,29	94,43	97,41	106,69	109,98	106,45
2011	110,41	97,09	98,64	94,55	97,84	79,06	80,34	80,27	88,70	111,31	106,84	110,35
2012	103,14	92,63	103,49	98,69	99,07	84,49	76,68	77,72	90,45	115,15	115,21	108,26
2013	102,69	87,94	96,70	86,52	98,15	91,84	76,56	86,45	88,13	103,49	102,15	106,35

Sumber: Hasil Perhitungan

Untuk mengetahui nilai evapotranspirasi potensial (ET<sub>o</sub>) suatu wilayah, dihitung total nilai evapotranspirasi potensial masing-masing stasiun hujan yang telah disesuaikan prosentase luasan masing-masing stasiun hujan di wilayah studi.

Perhitungannya menggunakan persamaan:

$$ET_{\text{Totot}} = \sum (ET_o \times n \times A_n)$$

Dimana:

ET<sub>o</sub> n = Evapotranspirasi potensial masing-masing stasiun hujan (mm)

A<sub>n</sub> = Prosentase luasan stasiun hujan (%)

ET<sub>Totot</sub> = Evapotranspirasi potensial total (mm)

Contoh perhitungan:

Diambil data evapotranspirasi potensial (ET<sub>o</sub>) pada bulan Januari tahun 2003

$$\begin{aligned}
 ET_{\text{Totot}} &= (ET_o \text{ Sta. Poncokusumo} \times 23\%) + (ET_o \text{ Sta. Turen} \times 32\%) \\
 &\quad + (ET_o \text{ Sta. Dampit} \times 45\%) \\
 &= (104,55 \times 23\%) + (118,58 \times 32\%) + (105,47 \times 45\%) \\
 &= 109,45 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan ET<sub>o</sub> total pada wilayah studi selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.30

Tabel 5.30. Nilai Evapotranspirasi potensial total di Sub DAS Lesti

TH	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES
2003	109,45	99,41	108,06	107,61	102,21	89,89	72,91	85,12	96,05	111,72	112,90	106,79
2004	109,06	99,07	100,06	108,59	103,09	85,05	88,22	82,44	95,64	115,43	119,41	111,68
2005	110,15	101,28	110,09	102,06	101,60	97,33	87,92	87,65	100,22	113,86	109,70	103,49
2006	111,98	95,76	105,36	102,51	100,86	81,09	80,90	78,54	85,67	114,28	129,52	125,90
2007	110,71	98,17	104,17	102,58	104,64	92,08	85,30	80,74	90,21	117,05	108,91	109,34
2008	108,49	97,37	99,65	100,52	96,55	84,84	78,43	85,57	96,41	121,46	113,18	105,88
2009	106,04	95,16	106,02	108,31	105,27	90,19	83,30	86,36	96,44	116,51	121,99	118,26
2010	109,26	99,83	113,68	101,91	113,14	98,20	94,77	98,08	101,24	110,95	114,45	110,59
2011	114,67	100,79	102,30	98,09	101,53	81,82	83,10	83,02	91,89	115,67	110,95	114,55
2012	107,00	96,10	107,44	102,49	102,86	87,56	79,27	80,35	93,76	119,77	119,84	112,37
2013	106,44	91,07	100,19	89,56	101,80	95,25	79,09	89,47	91,23	107,32	105,93	110,25

Sumber: Hasil Perhitungan

#### 5.4. Analisis Debit Metode FJ. Mock

Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam menentukan debit sungai dengan metode FJ. Mock adalah:

- Luas sub DAS
- Curah hujan rerata wilayah (P) (Tabel 5.6)
- Jumlah hari hujan rerata wilayah (h) (Tabel 5.11)
- Evapotranspirasi potensial wilayah (ET<sub>o</sub>) (Tabel 5.30)
- Permukaan lahan terbuka (m) (Tabel 2.5; hal.21)
- Koefisien infiltrasi (i) (Tabel 2.5; hal.21)
- Faktor resesi aliran air tanah (RC) (Tabel 2.5; hal.21)
- Tampung air tanah permulaan (Tabel 2.4; hal.23)

Contoh perhitungan

Diambil data pada bulan Januari tahun 1990 dengan menggunakan metode FJ. Mock adalah sebagai berikut:

- Luas sub DAS = 635 km<sup>2</sup>
- Curah hujan (P) = 387,4mm
- Jumlah hari hujan (h) = 16 hari



- Evapotranspirasi potensial (ET<sub>o</sub>) = 109,45 mm
- Permukaan lahan terbuka (m) = 50% (Tabel 2.5, hal 21)
- Koefisien infiltrasi (if) = 0,40 (Tabel 2.5, hal 21)
- Faktor resesi aliran air tanah (RC) = 0,60 (Tabel 2.5; hal.26)
- Tampung air tanah permulaan = 108mm (Tabel 2.4; hal.19)

Hasil analisis debit efektif sungai dengan metode FJ.Mock untuk tahun 2003 selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.32. Hasil analisis tersebut dinyatakan bahwa debit efektif air mengalami kelebihan air pada bulan Januari sampai Mei serta bulan Desember. Hal ini dikarenakan intensitas curah hujan yang cukup tinggi pada bulan-bulan tersebut dan juga jumlah hari hujan pada bulan-bulan tersebut lebih lama. Sedangkan debit efektif air mengalami penurunan pada bulan Juni sampai Nopember, karena intensitas hujan yang berkurang dan dipengaruhi oleh faktor permukaan lahan terbuka. Semakin banyak lahan terbuka, maka jumlah debit efektif air akan semakin mengalami penurunan. Hasil analisis debit metode FJ.Mock di sub DAS Lesti pada tahun 2003 sampai 2013 dapat dilihat pada Lampiran 5.1. Berikut adalah kesimpulan hasil analisis debit efektif tahun 2003-2013 dengan menggunakan metode FJ.Mock yang selengkapnya dijabarkan pada Tabel 5.31.

Table 5.31. Debit Efektif per Tahun (m<sup>3</sup>/dt)

Tahun	B U L A N											
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEPT	OKT	NOP	DES
2003	67,97	47,13	42,05	10,35	14,18	3,05	1,77	1,06	0,66	0,38	43,17	52,72
2004	48,32	68,60	70,30	8,44	6,68	3,14	1,82	1,09	10,75	0,93	42,11	84,07
2005	25,73	37,74	51,97	45,32	5,62	17,31	15,25	2,33	12,69	31,32	13,23	94,70
2006	54,32	55,36	50,07	51,23	21,23	4,79	2,78	1,67	1,04	0,60	0,37	43,94
2007	15,56	81,28	61,37	58,15	8,93	4,52	2,62	1,57	0,98	0,57	8,24	137,11
2008	48,99	44,83	103,47	45,29	16,69	5,16	2,99	1,80	1,11	22,00	86,97	55,21
2009	81,13	89,30	29,88	39,12	20,17	5,18	2,62	1,57	0,98	0,57	15,02	10,03
2010	42,72	90,13	64,73	74,50	33,04	19,90	29,70	11,73	41,66	23,64	57,05	51,80
2011	36,70	40,69	35,40	60,62	17,80	4,42	2,57	1,54	0,96	0,55	28,78	42,54
2012	80,37	64,22	71,97	32,37	6,43	3,99	2,32	1,39	0,86	0,50	24,32	59,18
2013	94,02	62,28	47,83	32,52	13,21	4,00	2,32	1,39	0,86	0,50	0,31	45,71
Rerata	54,17	61,96	57,18	41,63	14,91	6,86	6,07	2,47	6,59	7,41	29,05	61,55
Maks.	94,02	90,13	103,47	74,50	33,04	19,90	29,70	11,73	41,66	31,32	86,97	137,11
Jumlah	595,83	681,55	629,03	457,92	163,97	75,46	66,77	27,15	72,54	81,56	319,59	677,00

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 5.32. Analisis Debit Metode FJ.Mock Tahun 2003

Luas sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Kali Lesti = 635,000 km<sup>2</sup>

No	URAIAN			B U L A N											
				JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
1	Curah Hujan (R)	mm	Data	394,0	255,5	263,1	96,4	119,7	26,4	0,9	2,1	22,4	72,2	302,1	356,0
2	Hari Hujan (n)	hari	Data	21	16	14	7	6	2	0	0	3	4	14	21
<b>EVAPOTRANSPIRASI AKTUAL (Ea)</b>															
3	Evapotranspirasi potensial (ET <sub>o</sub> )	mm	Data	109,45	99,41	108,06	107,61	102,21	89,89	72,91	85,12	96,05	111,72	112,90	106,79
4	Permukaan Lahan Terbuka (m)	%	Asumsi	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
5	(m/20) . (18 - n)		Hitung	-6,70	3,78	10,43	26,95	30,68	40,80	43,88	44,43	37,63	34,10	8,82	-7,53
6	ΔE = (ET <sub>o</sub> ) * (m/20) . (18 - n)	mm	(3) * (5)	-7,33	3,75	11,26	29,00	31,35	36,68	31,99	37,82	36,14	38,10	9,96	-8,04
7	Ea = ET <sub>o</sub> - ΔE	mm	(3) - (6)	116,78	95,66	96,79	78,61	70,86	53,22	40,92	47,31	59,91	73,62	102,94	114,83
<b>KELEBIHAN AIR (WS)</b>															
8	Ds = P - Et	mm	(1) - (7)	277,26	159,80	166,29	17,80	48,86	-26,86	-40,02	-45,24	-37,51	-1,47	199,16	241,19
9	Kandungan Air Tanah (SS)	mm	Hitung	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-26,86	-40,02	-45,24	-37,51	-1,47	0,00	0,00
10	Kapasitas Kelembaban Tanah (SMC)	mm	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	173,1	133,1	87,9	50,4	48,9	200,0	200,0
11	Kelebihan Air (WS)	mm	(8) - (9)	277,26	159,80	166,29	17,80	48,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	199,16	241,19
<b>ALIRAN &amp; PENYIMPANAN AIR TANAH</b>															
12	Infiltrasi (I)	mm	if * (11)	110,90	63,92	66,52	7,12	19,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	79,67	96,48
13	0,5 . (1+RC) . I		Hitung	33,77	19,68	20,45	2,64	6,36	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	24,40	29,44
14	RC.GS <sub>(n-1)</sub>		Hitung	64,80	59,14	47,29	40,65	25,97	19,40	11,94	7,46	4,78	3,17	2,20	15,96
15	Volume Penyimpanan (GS <sub>n</sub> )	mm	(13) + (14)	98,57	78,82	67,75	43,28	32,33	19,90	12,44	7,96	5,28	3,67	26,60	45,40
16	Perubahan Volume Air (ΔGS <sub>n</sub> )		GS <sub>n</sub> -GS <sub>(n-1)</sub>	-9,43	-19,75	-11,07	-24,46	-10,95	-12,43	-7,46	-4,48	-2,69	-1,61	22,93	18,80
17	Limpasan Dasar (BF)	mm	(12) - (16)	120,33	83,67	77,59	31,58	30,49	12,43	7,46	4,48	2,69	1,61	56,73	77,67
18	Limpasan Langsung (DR)	mm	(11) - (12)	166,35	95,88	99,77	10,68	29,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	119,50	144,72
19	Total Limpasan (Q <sub>tot</sub> )	mm	(17) + (18)	286,68	179,56	177,36	42,26	59,81	12,43	7,46	4,48	2,69	1,61	176,23	222,39
<b>DEBIT ALIRAN SUNGAI</b>															
20	Debit Efektif (Q <sub>efektif</sub> )	m <sup>3</sup> /dt	Hitung	67,97	47,13	42,05	10,35	14,18	3,05	1,77	1,06	0,66	0,38	43,17	52,72

Sumber: Hasil Perhitungan

Untuk mendapatkan analisis debit efektif yang mendekati sesungguhnya di lapangan perlu dilakukan kalibrasi, yaitu perbandingan antaran debit sungai terukur dengan hasil perhitungan debit di Kali Lesti dengan metode FJ.Mock. Pada Lampiran 5.1 disajikan hasil perhitungan debit di Kali Lesti dengan metode FJ.Mock dengan debit AWLR Tawangrejeni sebagai contoh pada tahun 2003. Dalam pemenuhan kebutuhan air baik untuk domestik maupun non domestik perlu dibuat acuan dalam pemanfaatan air yaitu dengan mengacu pada suatu Debit Andalan. Debit andalan adalah debit minimum yang dijadikan titik tinjau suatu sungai yang merupakan gabungan antara limpasan langsung (*direct run off*) dan aliran dasar (*baseflow*) untuk keperluan irigasi, penyediaan air bersih, industri dan lain-lain. Debit andalan nantinya akan dijadikan acuan pada suatu waktu dengan besaran nilai debit tertentu. Debit andalan untuk irigasi ditetapkan 80%, sedangkan untuk kebutuhan air bersih/minum ditetapkan sebesar 90% (Triatmojo, 2014). Jika ditetapkan debit andalan sebesar 90% artinya resiko adanya debit yang lebih kecil dari debit andalan sebesar 10%. Sebelum menentukan besaran debit andalan terlebih dahulu mengurutkan debit tahunan hasil analisis debit efektif tahunan (Tabel 5.32) dari yang terbesar ke yang terkecil. Tabel 5.33 merupakan hasil analisis debit efektif yang telah diurutkan.

Tabel 5.33. Analisa Debit Andalan (m<sup>3</sup>/dt)

Andalan (%)	B U L A N											
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEPT	OKT	NOP	DES
9,09	67,97	90,13	42,05	74,50	33,04	19,90	2,62	11,73	41,66	31,32	43,17	137,11
18,18	94,02	89,30	103,47	60,62	21,23	17,31	29,70	2,33	12,69	23,64	86,97	94,70
27,27	81,13	81,28	71,97	58,15	20,17	5,18	15,25	1,80	10,75	22,00	57,05	84,07
36,36	80,37	68,60	70,30	51,23	17,80	5,16	2,99	1,67	1,11	0,93	42,11	59,18
45,45	54,32	64,22	64,73	45,32	16,69	4,79	2,78	1,57	1,04	0,60	28,78	55,21
54,55	48,99	62,28	61,37	45,29	14,18	4,52	2,62	1,57	0,98	0,57	24,32	52,72
63,64	48,32	55,36	51,97	39,12	13,21	4,42	2,57	1,54	0,98	0,57	15,02	51,80
72,73	42,72	47,13	50,07	32,52	8,93	4,00	2,32	1,39	0,96	0,55	13,23	45,71
81,82	36,70	44,83	47,83	32,37	6,68	3,99	2,32	1,39	0,86	0,50	8,24	43,94
90,91	25,73	40,69	35,40	10,35	6,43	3,14	1,82	1,09	0,86	0,50	0,37	42,54
100,00	15,56	37,74	29,88	8,44	5,62	3,05	1,77	1,06	0,66	0,38	0,31	10,03

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan table tersebut, maka dapat dihitung debit andalan sesuai pemenuhan kebutuhan air. Dalam tesis ini hanya menghitung kebutuhan air domestik dan non domestik, maka debit andalan yang dibutuhkan yaitu 90%. Karena tidak terdapat nilai yang bulat, maka dilakukan interpolasi untuk masing-masing debit andalan.

Tabel 5.34 memperlihatkan hasil perhitungan debit andalan.

Tabel 5.34. Debit Andalan 90% (m<sup>3</sup>/dt)

Nama DPS	B U L A N											
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEPT	OKT	NOP	DES
Sub DAS Lesti	26,83	41,10	36,64	12,55	6,46	3,22	1,87	1,12	0,86	0,50	1,16	42,68

Sumber: Hasil Perhitungan

## 5.5. Analisis Kebutuhan Air

Kebutuhan air meliputi kebutuhan uar untuk domestik pada tesis ini adalah kebutuhan air penduduk (air rumah tangga). Kebutuhan non domestik nya meliputi kebutuhan air perkantoran, fasilitas kesehatan, penginapan, pendidikan, peribadatan, peternakan dan industri.

### 5.5.1. Kebutuhan Domestik

Kebutuhan air domestik adalah kebutuhan yang digunakan untuk pemenuhan kebutuhan tempat-tempat hunian pribadi seperti memasak, minum, mencuci dan keperluan lainnya. Kebutuhan air dihitung untuk kondisi saat ini (2016) dan tahun prediksi sampai 2023. Kebutuhan air domestik dan non domestik dihitung berdasarkan jumlah penduduk dan konsumsi pemakaian air per jiwa per hari. Pada tesis ini konsumsi pemakaian air mengacu pada laporan tahun 2015 PDAM Kabupaten Malang. Sebelum menghitung kebutuhan air domestik terlebih dahulu dilakukan proyeksi penduduk hingga tahun 2023. Proyeksi penduduk adalah memprediksi jumlah penduduk pada tahun tertentu dengan konversi rata-rata tahunan pertumbuhan penduduk. Dalam melakukan proyeksi penduduk digunakan beberapa metode antara lain: metode aritmatik, geometrik dan last square untuk mendapatkan nilai r (nilai korelasi) yang mendekati 1 (satu).

Hal ini bertujuan agar diperoleh keakuratan dalam proyeksi jumlah penduduk. Berikut ini Tabel 5.35-5.37 adalah contoh perbandingan antara metode proyeksi tersebut pada kecamatan Poncokusumo berdasarkan data Tabel 4.6.

Tabel 5.35. Nilai “r” dengan menggunakan metode Aritmatik pada Kec. Poncokusumo

No	Tahun	Jumlah Penduduk	X	X <sup>2</sup>	Y	Y <sup>2</sup>	XY	r
1	2003	89.448	0	0	0	0	0	
2	2004	89.784	1	1	336	112.856	336	
3	2005	90.121	2	4	337	113.705	674	
4	2006	90.460	3	9	338	114.561	1.015	
5	2007	90.800	4	16	340	115.423	1.359	
6	2008	91.141	5	25	341	116.291	1.705	
7	2009	91.483	6	36	342	117.167	2.054	
8	2010	91.833	7	49	350	122.529	2.450	
9	2011	92.178	8	64	345	118.953	2.759	
10	2012	92.524	9	81	346	119.849	3.116	
11	2013	92.872	10	100	347	120.751	3.475	
		Σ	55	385	3.423	1.172.084	18.944	0,533276

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 5.36. Nilai “r” dengan menggunakan metode Geometrik pada Kec. Poncokusumo

No	Tahun	Jumlah Penduduk	X	X <sup>2</sup>	Y=ln.P	Y <sup>2</sup>	XY	r
1	2003	89.448	1	1	11,40	130	11	
2	2004	89.784	2	4	11,41	130	23	
3	2005	90.121	3	9	11,41	130	34	
4	2006	90.460	4	16	11,41	130	46	
5	2007	90.800	5	25	11,42	130	57	
6	2008	91.141	6	36	11,42	130	69	
7	2009	91.483	7	49	11,42	131	80	
8	2010	91.833	8	64	11,43	131	91	
9	2011	92.178	9	81	11,43	131	103	
10	2012	92.524	10	100	11,44	131	114	
11	2013	92.872	11	121	11,44	131	126	
		Σ	66	506	126	1.435	754	0,999999

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 5.37. Nilai “r” dengan menggunakan metode Last Squares pada  
Kec. Poncokusumo

No	Tahun	Jumlah Penduduk	X	X <sup>2</sup>	Y	Y <sup>2</sup>	XY	r
1	2003	89.448	1	1	89.448	8.000.997.883	89.448	
2	2004	89.784	2	4	89.784	8.061.209.277	179.568	
3	2005	90.121	3	9	90.121	8.121.873.790	270.364	
4	2006	90.460	4	16	90.460	8.182.994.834	361.840	
5	2007	90.800	5	25	90.800	8.244.575.843	453.998	
6	2008	91.141	6	36	91.141	8.306.620.279	546.844	
7	2009	91.483	7	49	91.483	8.369.131.629	640.381	
8	2010	91.833	8	64	91.833	8.433.299.849	734.664	
9	2011	92.178	9	81	92.178	8.496.764.524	829.601	
10	2012	92.524	10	100	92.524	8.560.706.802	925.241	
11	2013	92.872	11	121	92.872	8.625.130.277	1.021.587	
	Σ		66	506	1.002.644	91.403.304.988	6.053.537	0,999981

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari hasil perbandingan ketiga metode tersebut didapat nilai regresi “r” yang mendekati 1 (satu) yaitu dengan menggunakan metode Geometrik. Maka untuk menghitung rasio pertumbuhan rata-rata penduduk per tahun dengan persamaan:

$$P_n = P_o (1+r)^{dt}$$

Dimana:

$P_n$  = populasi pada tahun ke-n (proyeksi penduduk) (jiwa)

$P_o$  = populasi saat ini (jiwa)

$r$  = rata-rata pertambahan penduduk pertahun

$dt$  = kurun waktu proyeksi

dengan:

$$r = (P_o / P_t)^{1/n} - 1$$

dimana:

$P_o$  = populasi saat ini (jiwa)

$P_t$  = populasi tahun dasar (tahun awal data yang diambil) (jiwa)

$n$  = jumlah data yang diambil

Contoh perhitungan proyeksi penduduk pada Kecamatan Poncokusumo

Berdasarkan Tabel 4.6 jumlah pertumbuhan penduduk per tahun di Kecamatan Poncokusumo pada tahun 2003 adalah 89.448 jiwa dan tahun 2013 adalah 92.872 jiwa, sehingga diperoleh analisa proyeksi penduduk sebagai berikut:

$$r = (92.872 / 89.448)^{1/n} - 1$$

$$r = 0,0342 \sim 0,342\%$$

maka, proyeksi penduduk Kecamatan Poncokusumo pada tahun 2014 adalah:

$$P_n = P_o (1+r)^{dt}$$

$$P_n = 92.872 \times (1 + 0,0342)^1$$

$$P_n = 93.189 \text{ jiwa}$$

Proyeksi penduduk masing-masing kecamatan dihitung dengan cara yang sama dan untuk hasil proyeksi penduduk pada masing-masing kecamatan dapat dilihat pada Tabel 5.38.

Tabel 5.38. Proyeksi Penduduk Pada Masing-masing Kecamatan Tahun 2014-2023

No	Kecamatan	Jumlah Penduduk (Jiwa)			
		2014	2015	2016	2017
1	Poncokusumo	93.189	93.508	93.828	94.149
2	Wajak	81.117	81.472	81.827	82.185
3	Dampit	119.693	120.026	120.360	120.695
4	Tirtoyudo	60.016	60.203	60.392	60.581
5	Turen	114.354	114.980	115.609	116.241
6	Gondanglegi	84.442	85.145	85.854	86.569
7	Sumbermanjing	51.844	51.855	51.866	51.877
8	Bululawang	71.057	71.631	72.210	72.794
9	Pagelaran	67.254	67.671	68.092	68.515
10	Gedangan	53.099	53.354	53.609	53.867
11	Bantur	69.133	69.383	69.634	69.886
12	Pagak	46.008	46.144	46.281	46.418
<b>Total</b>		<b>911.206</b>	<b>915.373</b>	<b>919.562</b>	<b>923.775</b>

Lanjutan

No	Kecamatan	Jumlah Penduduk (Jiwa)			
		2018	2019	2020	2021
1	Poncokusumo	94.471	94.794	95.118	95.443
2	Wajak	82.544	82.904	83.267	83.630
3	Dampit	121.030	121.367	121.705	122.043
4	Tirtoyudo	60.770	60.960	61.151	61.342
5	Turen	116.877	117.517	118.160	118.806
6	Gondanglegi	87.290	88.016	88.749	89.488
7	Sumbermanjing	51.888	51.899	51.911	51.922
8	Bululawang	73.382	73.975	74.573	75.176
9	Pagelaran	68.941	69.369	69.800	70.233
10	Gedangan	54.125	54.384	54.645	54.907
11	Bantur	70.139	70.393	70.648	70.904
12	Pagak	46.555	46.692	46.830	46.969
<b>Total</b>		<b>928.012</b>	<b>932.272</b>	<b>936.556</b>	<b>940.864</b>

Lanjutan

No	Kecamatan	Jumlah Penduduk (Jiwa)			
		2022	2023	2024	2025
1	Poncokusumo	95.770	96.097	96.426	96.756
2	Wajak	83.996	84.362	84.731	85.101
3	Dampit	122.383	122.723	123.065	123.407
4	Tirtoyudo	61.534	61.727	61.920	62.113
5	Turen	119.457	120.110	120.767	121.428
6	Gondanglegi	90.233	90.984	91.742	92.505
7	Sumbermanjing	51.933	51.944	51.955	51.966
8	Bululawang	75.783	76.396	77.013	77.636
9	Pagelaran	70.670	71.109	71.550	71.995
10	Gedangan	55.171	55.435	55.701	55.968
11	Bantur	71.160	71.418	71.676	71.936
12	Pagak	47.107	47.247	47.386	47.526
<b>Total</b>		<b>945.196</b>	<b>949.552</b>	<b>953.932</b>	<b>958.338</b>

Sumber: Hasil Perhitungan



Setelah dilakukan proyeksi jumlah penduduk, maka langkah selanjutnya adalah menghitung kebutuhan air domestik. Jumlah air yang dibutuhkan perkapita per hari ditetapkan berdasarkan laporan pemakaian rata-rata PDAM Kabupaten Malang tahun 2015. Jumlah pemakaian rata-rata tiap orang (untuk pelanggan rumah tangga) tiap hari adalah 94,87 ltr/orang/hari (PDAM Kab. Malang, 2015). Untuk kebocoran/air tanpa rekening/*non revenue water* (NRW) pada tahun 2014 tercatat sebesar 29,68% (PDAM Kab.Malang, 2014)

Contoh perhitungan:

Jumlah penduduk pada tahun 2016 mencapai 919,562 jiwa. Dengan mengacu jumlah pemakaian rata-rata diatas, kebutuhan air per kapita sebesar 94,87 liter/jiwa/hari, maka kebutuhan air dapat dihitung sebagai berikut:

$$Q_{\text{domestik}} = P_t \times U_n$$

Dimana:

$$Q_{\text{domestik}} = \text{jumlah kebutuhan air penduduk (L/jiwa/detik)}$$

$$P_t = \text{jumlah penduduk pada tahun yang bersangkutan (jiwa)}$$

$$U_n = \text{nilai kebutuhan air perkapita per hari (L/jiwa/hari)}$$

Perhitungan:

$$Q_{\text{domestik 2016}} = 919.562 \times 94,87$$

$$Q_{\text{domestik 2016}} = 87.238,894 \text{ lt/hari}$$

$$Q_{\text{domestik 2016}} = 1.009.7 \text{ lt/dt}$$

Untuk perhitungan proyeksi kebutuhan air domestik selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 5.39.

Tabel 5.39 Proyeksi Kebutuhan Air Domestik Tahun 2016 - 2023

No	Tahun	Jumlah Kebutuhan (lt/dt)	Kebocoran Air (%)	Total Kebutuhan Air (lt/dt)	Total Kebutuhan Air (m3/dt)
1	2016	1.009,71	29,68	1.309,39	1,31
2	2017	1.014,34	29,68	1.315,39	1,32
3	2018	1.018,99	29,68	1.321,42	1,32
4	2020	1.028,37	29,68	1.333,59	1,33
5	2023	1.042,64	29,68	1.352,09	1,35
6	2030	1.076,88	29,68	1.396,50	1,40

Sumber: Hasil Perhitungan

### 5.5.2. Kebutuhan Non Domestik

Kebutuhan air non domestik adalah kebutuhan air bersih di luar kebutuhan rumah tangga, antara lain: kebutuhan air perkantoran, fasilitas kesehatan, penginapan, pendidikan, tempat peribadatan, peternakan, dan industri.

#### 1) Kebutuhan Air Perkantoran (QPK)

Kebutuhan konsumsi air untuk perkantoran didasarkan pada jumlah pegawai baik di instansi pemerintah maupun swasta. Berdasarkan data Kabupaten Dalam Angka jumlah pegawai negeri maupun swasta pada tahun 2003 berjumlah 6,765 orang dan tahun 2010 berjumlah 8,547 orang. Dalam melakukan proyeksi jumlah pegawai digunakan beberapa metode antara lain: metode aritmatik, geometrik dan last square untuk mendapatkan nilai  $r$  (nilai korelasi) yang mendekati 1 (satu). Hal ini bertujuan agar diperoleh keakuratan dalam proyeksi jumlah penduduk. Berikut ini Tabel 5.40-5.42 adalah contoh perbandingan antara metode proyeksi tersebut.

Tabel 5.40 Nilai “ $r$ ” dengan menggunakan metode Aritmatik

No	Tahun	Jumlah Pegawai (org)	X	X <sup>2</sup>	Y	Y <sup>2</sup>	XY	r
1	2003	6.765	0	0	0	0	0	
2	2004	6.966	1	1	201	40.256	201	
3	2005	7.172	2	4	207	42.680	413	
4	2006	7.385	3	9	213	45.249	638	
5	2007	7.604	4	16	219	47.973	876	
6	2008	7.829	5	25	226	50.861	1.128	
7	2009	8.062	6	36	232	53.922	1.393	
8	2010	8.301	7	49	239	57.168	1.674	
9	2011	8.547	8	64	246	60.610	1.970	
10	2012	8.800	9	81	253	64.258	2.281	
11	2013	9.062	10	100	261	68.126	2.610	
	$\Sigma$		55	385	2.297	531.103	13.184	0,7137

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 5.41 Nilai “r” dengan menggunakan metode Geometrik

No	Tahun	Jumlah Penduduk	X	X <sup>2</sup>	Y=ln.P	Y <sup>2</sup>	XY	r
1	2003	6.765	1	1	9	78	9	
2	2004	6.966	2	4	9	78	18	
3	2005	7.172	3	9	9	79	27	
4	2006	7.385	4	16	9	79	36	
5	2007	7.604	5	25	9	80	45	
6	2008	7.829	6	36	9	80	54	
7	2009	8.062	7	49	9	81	63	
8	2010	8.301	8	64	9	81	72	
9	2011	8.547	9	81	9	82	81	
10	2012	8.800	10	100	9	82	91	
11	2013	9.062	11	121	9	83	100	
	Σ		66	506	99	884	595	1,00000

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 5.42 Nilai “r” dengan menggunakan metode Last Squares

No	Tahun	Jumlah Penduduk	X	X <sup>2</sup>	Y	Y <sup>2</sup>	XY	r
1	2003	6.765	1	1	6.765	45.765.225	6.765	
2	2004	6.966	2	4	6.966	48.520.144	13.931	
3	2005	7.172	3	9	7.172	51.440.899	21.517	
4	2006	7.385	4	16	7.385	54.537.475	29.540	
5	2007	7.604	5	25	7.604	57.820.455	38.020	
6	2008	7.829	6	36	7.829	61.301.059	46.977	
7	2009	8.062	7	49	8.062	64.991.185	56.432	
8	2010	8.301	8	64	8.301	68.903.444	66.406	
9	2011	8.547	9	81	8.547	73.051.209	76.923	
10	2012	8.800	10	100	8.800	77.448.656	88.005	
11	2013	9.062	11	121	9.062	82.110.814	99.677	
	Σ		66	506	86.493	685.890.566	544.193	0,9992

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari hasil perbandingan ketiga metode tersebut didapat nilai regresi “r” yang mendekati 1 (satu) yaitu dengan menggunakan metode Geometrik. Maka untuk menghitung rasio pertumbuhan rata-rata pegawai per tahun dengan persamaan:

$$P_n = P_o (1+r)^{dt}$$

Dimana:

P<sub>n</sub> = jumlah pegawai pada tahun ke-n (proyeksi pegawai) (jiwa)

P<sub>o</sub> = jumlah pegawai saat ini (jiwa)

r = rata-rata pertambahan penduduk pertahun

dt = kurun waktu proyeksi

dengan:

$$r = (P_o / P_t)^{1/n} - 1$$

dimana:

$P_o$  = jumlah pegawai saat ini (jiwa)

$P_t$  = jumlah pegawai tahun dasar (tahun awal data yang diambil) (jiwa)

$n$  = jumlah data yang diambil

Contoh perhitungan proyeksi pegawai

Jumlah pegawai pada tahun 2003 adalah 6.765 jiwa dan tahun 2010 adalah 8.547 jiwa, sehingga diperoleh analisa proyeksi pegawai sebagai berikut:

$$r = (6.765 / 8.547)^{1/n} - 1$$

$$r = 0,030 \sim 0,30\%$$

maka, proyeksi jumlah pegawai pada tahun 2016 adalah:

$$P_n = P_o (1+r)^{dt}$$

$$P_n = 8.547 \times (1 + 0,03)^6$$

$$P_n = 9.892 \text{ jiwa}$$

Proyeksi jumlah pegawai dihitung dengan cara yang sama dan untuk hasil proyeksi jumlah penduduk per tahun dapat dilihat pada Tabel 5.43.

Tabel 5.43. Proyeksi Jumlah Pegawai pada Tahun 2016-2023

No	Tahun	Jumlah Pegawai
1	2016	9.892
2	2017	10.185
3	2018	10.487
4	2019	10.798
5	2020	11.119
6	2021	11.448
7	2022	11.788
8	2023	12.138

Sumber: Hasil Perhitungan

Dengan ketentuan kebutuhan air untuk perkantoran 10 liter/orang/hari (SNI 19-6728.1, 2002), maka diperoleh total kebutuhan air untuk perkantoran sesuai Tabel 5.44 sebagai berikut:

Tabel 5.44. Proyeksi Kebutuhan Air Perkantoran Tahun 2016 - 2023

No	Tahun	Jumlah Pegawai (org)	Konsumsi Air (lt/org/hari)	Jumlah Pemakaian (lt/hari)	Jumlah Kebutuhan (lt/dt)
1	2016	9.892	10,00	98.919,04	1,14
2	2017	10.185	10,00	101.852,84	1,18
3	2018	10.487	10,00	104.873,65	1,21
4	2020	11.119	10,00	111.186,70	1,29
5	2023	12.138	10,00	121.375,93	1,40

Sumber: Hasil Perhitungan

## 2) Kebutuhan Air Fasilitas Kesehatan (QFK)

Fasilitas pelayanan kesehatan di Kabupaten Malang terdiri dari RS Pemerintah dan Swasta, rumah bersalin dan puskesmas. Jumlah fasilitas kesehatan di wilayah studi pada tahun 2013 mencapai 69 unit. Proyeksi pertumbuhan fasilitas kesehatan disesuaikan dengan pertambahan jumlah penduduk dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\text{Penduduk Tahun ke } n}{\text{Penduduk Tahun awal}} = \frac{\text{Fasilitas Tahun ke } n}{\text{Fasilitas Tahun awal}}$$

$$\text{Penduduk Tahun ke } n = \frac{\text{Fasilitas Tahun ke } n \times \text{Penduduk Tahun awal}}{\text{Fasilitas Tahun awal}}$$

Contoh perhitungan:

$$\text{Penduduk tahun awal 2013} = 907,063 \text{ jiwa}$$

$$\text{Penduduk tahun 2014} = 911,206 \text{ jiwa}$$

$$\text{Fasilitas tahun awal 2013} = 69 \text{ unit}$$

Maka, proyeksi jumlah fasilitas kesehatan Kab. Malang pada tahun 2014 adalah:

$$\frac{911,206}{907,063} = \frac{\text{fasilitas tahun 2014 (X)}}{69}$$

$$X = \frac{69 \times 911,206}{907,063}$$

$$X = 69.32 \sim 69 \text{ unit}$$

$$X = 69.32 \sim 69 \text{ unit}$$

Jadi jumlah unit kesehatan pada tahun 2014 sebanyak 69 unit. Menurut kebijakan operasional Kimpraswil 2011 kebutuhan air bersih untuk fasilitas kesehatan

sebesar 5000 liter/unit/hari. Untuk selanjutnya proyeksi dan jumlah kebutuhan air fasilitas kesehatan diterangkan pada perhitungan dan Table 5.45.

$$\begin{aligned} Q_{FK} &= 69 \times 5000 \text{ lt/unit/hari} \\ &= 345,576 \text{ lt/hari} \\ &= 4.01 \text{ lt/dt} \end{aligned}$$

Tabel 5.45. Proyeksi Kebutuhan Air untuk Fasilitas Kesehatan 2016 - 2023

No	Tahun	Jumlah Unit	Konsumsi Air (lt/unit/hari)	Jumlah Pemakaian (lt/hari)	Jumlah Kebutuhan (lt/dt)
1	2014	69	5000	346.576	4,01
2	2016	70	5000	349.754	4,05
3	2020	71	5000	356.218	4,12
4	2025	73	5000	364.502	4,22
5	2030	75	5000	373.022	4,32

Sumber: Hasil Perhitungan

### 3) Kebutuhan Air Fasilitas Pendidikan (QPD)

Fasilitas pendidikan di Kabupaten Malang terdiri dari TK, SD Negeri dan Swasta, SMP/MTs Negeri dan Swasta, dan SMA/SMK/MA Negeri dan Swasta. Jumlah fasilitas pendidikan di wilayah studi pada tahun 2013 mencapai 1046 unit. Proyeksi pertumbuhan fasilitas pendidikan disesuaikan dengan pertumbuhan jumlah penduduk dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\text{Penduduk Tahun ke } n}{\text{Penduduk Tahun awal}} = \frac{\text{Fasilitas Tahun ke } n}{\text{Fasilitas Tahun awal}}$$

$$\text{Penduduk Tahun ke } n = \frac{\text{Fasilitas Tahun ke } n \times \text{Penduduk Tahun awal}}{\text{Fasilitas Tahun awal}}$$

Contoh perhitungan:

$$\text{Penduduk tahun awal 2013} = 907,063 \text{ jiwa}$$

$$\text{Penduduk tahun 2014} = 911,206 \text{ jiwa}$$

$$\text{Fasilitas tahun awal 2013} = 1046 \text{ unit}$$

Maka, proyeksi jumlah fasilitas tempat pendidikan Kab. Malang pada tahun 2014 adalah:

$$\frac{911,206}{907,063} = \frac{\text{fasilitas tahun 2014 (X)}}{1046}$$

$$X = \frac{911,206 \times 1046}{907,063}$$

$$X = \frac{952,786}{907,063} = 1050.78 \sim 1051 \text{ unit}$$

$$X = 1050.78 \sim 1051 \text{ unit}$$

Menurut Direktorat Jenderal Teknik Penyehatan, Dirjen Cipta Karya Kemen.PU kebutuhan air bersih untuk siswa sekolah sebesar 25 liter/siswa/hari dengan kapasitas maksimal 100 orang. Berdasarkan perhitungan diatas dapat kita ketahui jumlah unit sekolah pada tahun 2014 sebanyak 1051 unit. Untuk selanjutnya proyeksi dan jumlah kebutuhan air fasilitas pendidikan diterangkan pada perhitungan dan Tabel 5.46.

$$\begin{aligned} \text{QPD 2014} &= 1051 \times 25 \times 100 \\ &= 2,626,945 \text{ lt/hari} \\ &= 30.40 \text{ lt/dt} \end{aligned}$$

Tabel 5.46. Proyeksi Kebutuhan Air Fasilitas Pendidikan 2016 - 2023

No	Tahun	Jumlah Unit	Konsumsi Air (lt/org/hari)	Kapasitas Maksimal (org)	Jumlah Pemakaian (lt/hari)	Jumlah Kebutuhan (lt/dt)
1	2014	1051	25	100	2.626.945	30,40
2	2016	1060	25	100	2.651.035	30,68
3	2020	1080	25	100	2.700.026	31,25
4	2025	1105	25	100	2.762.821	31,98
5	2030	1131	25	100	2.827.397	32,72

Sumber: Hasil Perhitungan

#### 4) Kebutuhan Air Tempat Peribadatan (QIB)

Tempat ibadah di Kabupaten Malang meliputi: Masjid, Musholah, Gereja, Pura, Vihara dan Klenteng. Jumlah fasilitas peribadatan di wilayah studi pada tahun 2013 sebanyak 6.234 tempat ibadah. Proyeksi pertumbuhan fasilitas tempat peribadatan disesuaikan dengan pertumbuhan jumlah penduduk dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\text{Penduduk Tahun ke } n}{\text{Penduduk Tahun awal}} = \frac{\text{Fasilitas Tahun ke } n}{\text{Fasilitas Tahun awal}}$$

$$\text{Penduduk Tahun ke } n = \frac{\text{Fasilitas Tahun ke } n \times \text{Penduduk Tahun awal}}{\text{Fasilitas Tahun awal}}$$

Contoh perhitungan:

$$\text{Penduduk tahun awal 2013} = 907,063 \text{ jiwa}$$

$$\text{Penduduk tahun 2014} = 911,206 \text{ jiwa}$$

$$\text{Fasilitas tahun awal 2013} = 6234 \text{ unit}$$

Maka, proyeksi jumlah fasilitas tempat ibadah di Kab. Malang pada tahun 2014 adalah:

$$\begin{aligned}
911,206 &= \text{fasilitas tahun 2014 (X)} \\
907,063 &6,234 \\
X &= (6,234 \times 911,206) / 907,063 \\
X &= 6,262.48 \sim 6,262 \text{ unit}
\end{aligned}$$

Menurut Direktorat Teknik Penyehatan, Dirjen Cipta Karya KemenPU kebutuhan air bersih untuk tempat peribadatan 3000 liter/unit/hari. Berdasarkan perhitungan diatas dapat kita ketahui jumlah unit tempat ibadah pada tahun 2014 sebanyak 6,262 unit. Untuk selanjutnya proyeksi dan jumlah kebutuhan air fasilitas tempat ibadah diterangkan pada perhitungan dan Tabel 5.47.

$$\begin{aligned}
Q_{IB\ 2014} &= 6,262 \times 3000 \\
&= 2,626,945 \text{ lt/hari} \\
&= 217.45 \text{ lt/dt}
\end{aligned}$$

Tabel. 5.47. Proyeksi Kebutuhan Air untuk Tempat Ibadah 2016 - 2023

No	Tahun	Jumlah Unit	Konsumsi Air (lt/unit/hari)	Jumlah Pemakaian (lt/hari)	Jumlah Kebutuhan (lt/dt)
1	2014	6262	3000	18,787,429	217.45
2	2016	6320	3000	18,959,717	219.44
3	2020	6437	3000	19,310,092	223.50
4	2025	6586	3000	19,759,190	228.69
4	2030	6740	3000	20,221,023	234.04

Sumber: Hasil Perhitungan

## 5) Kebutuhan Air Peternakan (QPT)

Sektor peternakan di Kabupaten Malang terdiri dari: Ternak Besar; Ternak Kecil; dan Ternak Unggas. Ternak besar meliputi: Kuda, Sapi perah, Sapi potong, Kerbau. Ternak kecil meliputi: Kambing, Domba, Babi dan Kelinci. Ternak unggas meliputi: Ayam Buras, Ayam Petelur, Ayam Pedaging, Itik, Entog dan Burung Puyuh. Jumlah hewan ternak di wilayah studi pada tahun 2010 sebanyak 59,737 ekor untuk ternak besar; 64,284 ekor ternak kecil dan 5,052,802 ekor unggas. Sedangkan pada tahun 2013 sebanyak 121,074 ekor untuk ternak besar; 64,384 ekor ternak kecil dan 5,886,074 ekor unggas. Perkembangan jumlah ternak setiap tahunnya dapat dihitung dengan proyeksi.



Berikut adalah persamaan menghitung rata-rata perkembangan ternak setiap tahunnya:

$$r = (P_o / P_t)^{1/n} - 1$$

dimana:

$P_o$  = populasi saat ini (jiwa)

$P_t$  = populasi tahun dasar (tahun awal data yang diambil) (jiwa)

$n$  = jumlah data yang diambil

Contoh perhitungan:

Dari data diatas diperoleh rata-rata perkembangan ternak besar setiap tahunnya:

$$r = (P_o / P_t)^{1/n} - 1$$

$$\begin{aligned} r &= (121,074 / 59,737)^{1/3} - 1 \\ &= 0.2655 \end{aligned}$$

Maka, proyeksi tahun 2014

$$P_n = P_o (1+r)^{dt}$$

$$\begin{aligned} P_n &= 121,074 \times (1+0.2655)^1 \\ &= 153,222 \text{ ekor} \end{aligned}$$

Konsumsi air untuk ternak berbeda-beda (Dirjen Cipta Karya KemenPU) antara lain:

Ternak besar (sapi, kerbau dan kuda) konsumsi air nya = 40 lt/ekor/hari

Ternak kecil (kambing, domba dan babi) = 5 lt/ekor/hari

Ternak unggas = 0.6 lt/ekor/hari

Maka konsumsi air untuk ternak besar pada tahun 2014 adalah:

$$\begin{aligned} Q_{TB} &= 153,222 \times 40 \text{ lt/ekor/hari} \\ &= 6,128,865 \text{ lt/hari} \\ &= 70.94 \sim 71 \text{ lt/dt} \end{aligned}$$

Pada Tabel 5.48-5.50 menjelaskan proyeksi kebutuhan total air untuk ternak besar (sapi,kerbau dan kuda), ternak kecil (domba dan kambing) dan ternak unggas.

Tabel 5.48. Proyeksi Kebutuhan Air Ternak Besar Tahun 2016 - 2023

No	Tahun	Jumlah Ternak (ekor)	Konsumsi Air (lt/ekor/hari)	Jumlah Pemakaian (lt/hari)	Jumlah Kebutuhan Air (lt/dt)
1	2014	153,222	40	6,128,865	70.94
2	2016	245,391	40	9,815,634	113.61
3	2020	629,412	40	25,176,480	291.39
4	2025	2,043,059	40	81,722,343	945.86
5	2030	6,631,727	40	265,269,070	3,070.24

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 5.49. Proyeksi Kebutuhan Air Ternak Kecil Tahun 2016 - 2023

No	Tahun	Jumlah Ternak (ekor)	Konsumsi Air (lt/ekor/hari)	Jumlah Pemakaian (lt/hari)	Jumlah Kebutuhan Air (lt/dt)
1	2014	64,417	5	322,087	3.73
2	2016	64,484	5	322,421	3.73
3	2020	64,618	5	323,090	3.74
4	2025	64,786	5	323,928	3.75
5	2030	64,954	5	324,768	3.76

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 5.50. Proyeksi Kebutuhan Air Ternak Unggas Tahun 2016 - 2023

No	Tahun	Jumlah Ternak (ekor)	Konsumsi Air (lt/ekor/hari)	Jumlah Pemakaian (lt/hari)	Jumlah Kebutuhan Air (lt/dt)
1	2014	6,193,320	0.6	3,715,992	43.01
2	2016	6,856,763	0.6	4,114,058	47.62
3	2020	8,404,471	0.6	5,042,683	58.36
4	2025	10,839,256	0.6	6,503,554	75.27
5	2030	13,979,400	0.6	8,387,640	97.08

Sumber: Hasil Perhitungan

Untuk menghitung kebutuhan total air pada sektor peternakan setiap tahunnya:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{tot}} 2016 &= (113.61 + 3.73 + 47.62) \\
 &= 164.96 \text{ lt/dt}
 \end{aligned}$$

Hasil selengkapnya ditampilkan pada Tabel 5.51.

Tabel 5.51. Proyeksi Kebutuhan Total Air Peternakan (QPT) Tahun 2016 - 2023

No	Tahun	Jumlah Pemakaian (lt/hari)	Jumlah Kebutuhan Air (lt/dt)
1	2016	14.252.113	164,96
2	2017	17.073.280	197,61
3	2018	20.597.671	238,40
4	2020	30.542.252	353,50
5	2023	57.854.770	669,62

Sumber: Hasil Perhitungan

#### 6) Kebutuhan Air Industri

Kebutuhan air industri diasumsikan sesuai standar kebutuhan air industry sebesar 10% dari konsumsi air domestic (Direktorat Teknik Penyehatan, Dirjen Cipta Karya KemenPU). Tabel 5.52 berikut ini merupakan total kebutuhan industri setiap tahunnya.

Tabel 5.52 Proyeksi Kebutuhan Air Industri 2016-2023

No	Tahun	Jumlah Keb. Air Domestik (lt/hari)	Konsumsi Air (%)	Jumlah Pemakaian (lt/hari)	Jumlah Kebutuhan (lt/dt)
1	2014	86.446.151	10,0	8.644.615	100
2	2016	87.238.894	10,0	8.723.889	101
3	2020	88.851.066	10,0	8.885.107	103
4	2023	90.083.991	10,0	9.008.399	104
5	2030	93.042.513	10,0	9.304.251	108

Sumber: Hasil Perhitungan

Pada tahap ini dilakukan perhitungan antara kebutuhan total air domestik dan non domestik dari hasil proyeksi masing-masing tahun yang ditambahkan dengan faktor kebocoran sebesar 30%. Berikut merupakan hasil perhitungan:

1. Kebutuhan total air domestik ( $Q_{Dom}$ )

$$\begin{aligned} Q_{Dom} \text{ 2016} &= Q_{domestik} + \text{kebocoran} \\ &= 1.009,71 + 29,68\% \\ &= 1.309,39 \text{ lt/dt} \end{aligned}$$

Total kebutuhan air domestik seperti pada Tabel 5.53

Tabel 5.53. Proyeksi Total Kebutuhan Air Domestik ( $Q_{Dom}$ ) 2016-2023

No	Tahun	Jumlah Kebutuhan (lt/dt)	Kebocoran Air (%)	Total Kebutuhan Air (lt/dt)	Total Kebutuhan Air (m <sup>3</sup> /dt)
1	2016	1.009,71	29,68	1.309,39	1,31
2	2017	1.014,34	29,68	1.315,39	1,32
3	2018	1.018,99	29,68	1.321,42	1,32
4	2020	1.028,37	29,68	1.333,59	1,33
5	2023	1.042,64	29,68	1.352,09	1,35

Sumber: Hasil Perhitungan

2. Kebutuhan toal air non domestic ( $Q_{Non Dom}$ )

$$\begin{aligned} Q_{NonDom} \text{ 2016} &= Q_{PK} + Q_{FK} + Q_{PD} + Q_{IB} + Q_{PT} + \text{kebocoran} \\ &= 1,14+4,05+30,68+219,44+164.96+29,68\% \\ &= 545,01 \text{ lt/dt} \end{aligned}$$

Kebutuhan total air non domestik sesuai proyeksi dapat dilihat pada Tabel 5.54

Tabel 5.54. Proyeksi Total Kebutuhan Air Non Domestik ( $Q_{Non Dom}$ ) 2016-2023

No	Tahun	Jumlah Kebutuhan Air Perkantorn (lt/dt)	Jumlah Kebutuhan Air Fas. Kesehatan (lt/dt)	Jumlah Kebutuhan Air Fas. Pendidikan (lt/dt)	Jumlah Kebutuhan Air Tempat Ibadah (lt/dt)	Jumlah Kebutuhan Air Peternakan (lt/dt)	Kebocoran Air (%)	Jumlah Kebutuhan + Kebocoran (lt/dt)
1	2016	1,14	4,05	30,68	219,44	164,96	29,68	545,01
2	2017	1,18	4,07	30,82	220,45	197,61	29,68	588,91
3	2018	1,21	4,09	30,97	221,46	238,40	29,68	643,37
4	2020	1,29	4,12	31,25	223,50	353,50	29,68	795,79
5	2023	1,40	4,18	31,68	226,60	669,62	29,68	1.210,54

Sumber:Hasil Perhitungan

## 5.6. Analisis Keseimbangan Air/Potensi Air Permukaan

Keseimbangan air di Sub DAS Lesti diperoleh dengan membandingkan kebutuhan dan ketersediaan air untuk kondisi sekarang (2016) dan tahun tahun yang diproyeksikan. Ketersediaan air didasarkan pada debit andalan 90% (non irigasi). Kebutuhan air non irigasi (domestik dan non domestik) adalah konstan sepanjang tahun (Bambang Triadmojo, 2008). Selisih antara ketersediaan dengan kebutuhan air menggambarkan kondisi ketersediaan air pada wilayah studi, jika selisih keduanya bernilai positif, maka kondisi ketersediaan air surplus dan sebaliknya.

Contoh perhitungan :

- a) Menghitung Ketersediaan air setiap bulannya, misal pada bulan Januari tahun 2016.

$$Q_{\text{ketersediaan air}} = 26,83 \text{ m}^3/\text{dt} \text{ (Tabel 5.34)}$$

$$\text{Jumlah hari} = 31 \text{ hari}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{ketersediaan air}} &= 26,83 \text{ m}^3/\text{dt} \times 31 \text{ hari} \times (24 \times 3600) \text{ dt} \\ &= 71.849.438 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- b) Menghitung Kebutuhan air domestik bulan Januari tahun 2016.

$$Q_{\text{Dom}} = 1.309,39 \text{ lt/dt} \text{ (Tabel 5.52)}$$

$$= 1,31 \text{ m}^3/\text{dt}, \text{ maka}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{Dom}} &= 1,31 \text{ m}^3/\text{dt} \times 31 \text{ hari} \times (24 \times 3600) \text{ dt} \\ &= 3.507.073 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- c) Menghitung kebutuhan air non domestik pada bulan Januari tahun 2016

$$Q_{\text{NonDom}} = 545,01 \text{ lt/dt} \text{ (Tabel 5.53)}$$

$$= 0,55 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{NonDom}} &= 0,55 \text{ m}^3/\text{dt} \times 31 \text{ hari} \times (24 \times 3600) \text{ dt} \\ &= 1.459.753 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- d) Menentukan Kebutuhan bulan Januari tahun 2016

$$\begin{aligned} Q_{\text{total kebutuhan}} &= Q_{\text{dom}} + Q_{\text{nonDom}} \\ &= 3.507.073 \text{ m}^3 + 1.459.753 \text{ m}^3 \\ &= 4.966.826 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

e) Menentukan keseimbangan air pada bulan Januari tahun 2016

$$\begin{aligned}\text{Keseimbangan air} &= \text{Ketersediaan Air} - \text{Kebutuhan Air} \\ &= 71.849.438 \text{ m}^3 - 4.966.826 \text{ m}^3 \\ &= 66.882.612 \text{ m}^3 \text{ (Surplus)}\end{aligned}$$

Untuk perhitungan keseimbangan pada tahun 2016 selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.55.

Tabel 5.55 Keseimbangan Air Tahun 2016

Bln	periode	hari	Total Ketersediaan Air	Kebutuhan Air				Total Kebutuhan Air	Keseimbangan Air	
				Domestik		Non Domestik				
			m³	m³/dt	m³	m³/dt	m³	m³	m³	Kondisi
Jan	1	31	71.849.438	1,31	3.507.073	0,55	1.459.753	4.966.826	66.882.612	Surplus
Peb	1	28	99.428.466	1,31	3.167.679	0,55	1.318.486	4.486.166	94.942.300	Surplus
Mar	1	31	98.132.852	1,31	3.507.073	0,55	1.459.753	4.966.826	93.166.026	Surplus
Apr	1	30	32.541.039	1,31	3.393.942	0,55	1.412.664	4.806.606	27.734.433	Surplus
Mei	1	31	17.293.883	1,31	3.507.073	0,55	1.459.753	4.966.826	12.327.057	Surplus
Jun	1	30	8.357.732	1,31	3.393.942	0,55	1.412.664	4.806.606	3.551.126	Surplus
Jul	1	31	4.880.719	1,31	3.507.073	0,55	1.459.753	4.966.826	(86.107)	Defisit
Ags	1	31	3.008.784	1,31	3.507.073	0,55	1.459.753	4.966.826	(1.958.043)	Defisit
Sep	1	30	2.233.621	1,31	3.393.942	0,55	1.412.664	4.806.606	(2.572.985)	Defisit
Okt	1	31	1.340.173	1,31	3.507.073	0,55	1.459.753	4.966.826	(3.626.653)	Defisit
Nop	1	30	3.004.702	1,31	3.393.942	0,55	1.412.664	4.806.606	(1.801.904)	Defisit
Des	1	31	114.302.807	1,31	3.507.073	0,55	1.459.753	4.966.826	109.335.981	Surplus

Sumber: Hasil Perhitungan

Untuk perhitungan keseimbangan pada tahun 2017, 2018 2020 dan 2023 selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 5.2.

Secara umum kondisi ketersediaan ketersediaan air berlebih pada bulan Januari sampai Juni, namun terjadi defisit pada bulan Juli sampai Nopember. Defisit terbesar pada bulan Oktober sebesar 4.118.647 m<sup>3</sup>. Keadaan tersebut disebabkan ketersediaan air (curah hujan) yang sangat kecil sedangkan kebutuhan yang relatif sama tiap bulannya. Rekapitulasi defisit air selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 5.56.

Tabel 5.56. Rekapitulasi Rata-rata Defisit Air Pada Musim Kemarau (Per Tahun)

Tahun	Ketersediaan Air (m3)	Kebutuhan Air (m3)	Keseimbangan Air (m3)	Kondisi	Lama Defisit (Bln)
2016	2.893.600	4.902.738	(2.009.138)	Defisit	5
2017	2.893.600	5.034.657	(2.141.057)	Defisit	5
2018	2.893.600	5.194.596	(2.300.996)	Defisit	5
2020	2.893.600	5.629.730	(2.736.130)	Defisit	5
2023	2.893.600	6.775.193	(3.881.593)	Defisit	5

Sumber: Hasil Perhitungan

### 5.7. Analisis Konservasi Sumber Daya Air

Untuk mengatasi defisit air tersebut, maka metode konservasi sumber daya air yang dapat dilakukan antara lain: metode vegetasi dan mekanik. Metode vegetasi meliputi penanaman pohon gaharu, bambu dan tanaman porang. Peneliti memilih jenis tanaman tersebut dikarenakan vegetasi tersebut memiliki kemampuan menyimpan air yang tinggi. Metode mekasis meliputi pemanen air hujan (PAH) dengan media atap rumah dan pembuatan embung. Peneliti memilih PAH dengan media atap rumah dikarenakan atap-atap rumah memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan dalam menangkap air hujan kemudian ditampung di bak-bak penampungan. Tampungan tersebut dapat dimanfaatkan pada musim kemarau. Meskipun PAH dengan media atap rumah berpotensi menangkap air hujan, namun memiliki kelemahan, diantaranya volume tampungannya tidak terlalu besar, dan tidak semua penduduk bersedia menerapkannya. Oleh sebab itu dibutuhkan tampungan yang lebih besar yaitu dengan pembuatan embung.

Metode-metode tersebut akan diterapkan pada wilayah yang mengalami krisis air. Berdasarkan informasi dari BPBD Kabupaten Malang pada tahun 2014, wilayah sub DAS Lesti yang mengalami krisis air adalah: Turen; Gondanglegi; Sumbermanjing; Pagelaran; Gedangan; Pagak dan Bantur. Berikut adalah wilayah yang mengalami krisis air dan luasan kondisi tutupan lahan per kecamatan (Tabel 5.56a): Turen, Gondanglegi, Sumbermanjing, Pegelaran, Gedangan, Pagak dan Bantur. Lokasi sebaran vegetasi nantinya akan ditempatkan di lahan semak belukar dengan luas total 31,90 km<sup>2</sup> (3.190 ha).

Tabel 5.56a Luasan Lahan Semak Belukar di Kecamatan Krisis Air

No	Kecamatan	<i>Lahan Semak Belukar</i>	
		km <sup>2</sup>	ha
1	Turen	8,82	881,86
2	Gondanglegi	4,36	436,03
3	Sumbermanjing	4,89	489,02
4	Pagelaran	4,64	463,68
5	Gedangan	2,66	266,11
6	Bantur	4,29	429,12
7	Pagak	2,24	224,06

Sumber: BBWS Brantas, 2013

Dengan rincian luasan semak belukar per kecamatan yang mengalami krisis air, antara lain:

- Turen; luasan semak belukar = 8,82 km<sup>2</sup>
- Gondanglegi; luasan semak belukar = 4,36 km<sup>2</sup>
- Sumbermanjing; luasan semak belukar = 4,89 km<sup>2</sup>
- Pagelaran; luasan semak belukar = 4,64 km<sup>2</sup>
- Gedangan; luasan semak belukar = 2,66 km<sup>2</sup>
- Pagak; luasan semak belukar = 4,29 km<sup>2</sup>
- Bantur; luasan semak belukar = 2,24 km<sup>2</sup>

Maka total luasan lahan yang digunakan penanaman = 31,90 km<sup>2</sup> ~ 3.190 ha

### 5.7.1. Analisa Metode Vegetasi

#### 1. Luas Lahan Vegetasi

Upaya dalam meminimalisir defisit air yang terjadi pada musim kemarau yaitu salah satunya dengan mengembalikan fungsi tata guna lahan seperti fungsi semula, dimana peranan konservasi menjadi alternatifnya. Dalam tesis ini digunakan beberapa vegetasi yang memiliki nilai ekonomis, hidrologis dan konservasi serta sesuai dengan topografi dan iklim setempat. Jenis vegetasi tersebut antara lain: pohon gaharu dan bambu. Berdasarkan hasil penelitian oleh British Columbia, Ministry of Agriculture Food and Fisheries (2002), suatu vegetasi memiliki simpanan lengas tanah (*soil water storage/SWS*) berbeda



berdasarkan jenis tanah dan kedalaman efektif akar tanaman. Nilai kelengasan tanah dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$SWS = RD \times AWSC$$

Dimana:

SWS = simpanan lengas tanah (m)

RD = kedalaman efektif perakaran tanaman (m)

AWSC = kapasitas simpanan air tersedia (mm/m)

Contoh perhitungan:

#### ➤ **Pohon Gaharu**

Vegetasi gaharu memiliki:

- Kedalaman akar efektif (RD) = 1,70 m
- Kondisi tanah = lempung berpasir
- Kapasitas simpanan air (AWSC) = 125 mm/m (Tabel 2.9)

Dari data tersebut dapat diketahui nilai SWS vegetasi tersebut adalah:

$$\begin{aligned} SWS &= 1,70 \times 125 \\ &= 212,50 \text{ mm} \end{aligned}$$

Besarnya nilai simpanan lengas tanah (SWS) masing-masing jenis tanaman dapat dilihat pada Tabel 5.57

Tabel 5.57. Simpanan Lengas Tanah (mm)

No	Jenis Tanaman	Jenis Tanah	Kedalaman Akar (m)	Kapasitas Simpanan Air (mm/m)	Simpanan Lengas Tanah (mm)
1	Pohon Gaharu	Lempung berpasir	1,70	125,00	212,50
2	Bambu	Lempung berpasir	2,00	125,00	250,00

Sumber: Hasil Perhitungan

Dengan menggunakan vegetasi tersebut diatas diharapkan defisit air pada bulan-bulan kemarau setiap tahunnya dapat diminimalisir. Berikut difisit air yang dapat di atasi dengan menggunakan pohon gaharu yang ditanam di lahan semak belukar sesuai kecamatan yang mengalami krisis air.

Contoh perhitungan:

Vegetasi menggunakan Pohon Gaharu, di kecamatan Turen pada tahun 2017.

- Defisit air pada tahun 2017 = 2.141.057 m<sup>3</sup>
- Simpanan lengas tanah = 212,5 mm ~ 0,213 m
- Luas lahan semak belukar = 8,82 km<sup>2</sup> ~ 8.820.000 m<sup>2</sup>

Defisit yang dapat diatasi dengan pohon gaharu di kecamatan Turen pada tahun 2017 yaitu:

$$\begin{aligned}
 &= \text{Luas lahan} \times \text{simpanan lengas tanah} \\
 &= 8.820.000 \text{ m}^2 \times 0,213 \text{ m} \\
 &= 1.873.944 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Sisa defisit air yang dapat diatasi dengan menggunakan vegetasi pohon porang pada tahun 2017 adalah:

$$\begin{aligned}
 &= 2.141.057 \text{ m}^3 - 1.873.944 \text{ m}^3 \\
 &= 267.113 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Maka, untuk mengatasi defisit air pada tahun 2017 di kecamatan Turen dengan menggunakan pohon gaharu yang ditanam di lahan semak belukar dengan luas 8,82 km<sup>2</sup> (882 ha) menyisakan defisit sebesar 267.113 m<sup>3</sup>. Sisa defisit ini nanti akan diatasi dengan penanaman bambu.

#### ➤ **Bambu**

Perhitungan kebutuhan lahan penanaman bambu untuk mengatasi sisa defisit air pada tahun 2017 yaitu:

- Sisa defisit air tahun 2017 = 267.113 m<sup>3</sup>
- Simpanan lengas tanah = 250 mm ~ 0,25 m

Luas lahan yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned}
 &= \text{sisa defisit air} / \text{simpanan lengas} \\
 &= 267.113 / 0,25 \\
 &= 1.068.454 \text{ m}^2 \sim 106,85 \text{ ha} \sim 1,068 \text{ km}^2
 \end{aligned}$$

Maka untuk mengatasi defisit air di tahun 2017 dibutuhkan total lahan seluas (8,82 km<sup>2</sup> + 1,07 km<sup>2</sup>) = 9,89 km<sup>2</sup>. Penanaman pohon gaharu di kecamatan Turen dengan luas 8,82 km<sup>2</sup> ditanam di lahan semak belukar. Penanaman bambu nantinya akan ditempatkan di sepanjang sempadan sungai Kali Lesti dan anak-anaknya. Penanaman pohon gaharu dan bambu dilakukan secara bertahap dari tahun 2017 hingga 2023.

Tabel 5.58 memperlihatkan luasan lahan untuk konservasi dan defisit air yang dapat diatasi dengan pohon gaharu. Tabel 5.58a menunjukkan sisa defisit air pada tahun 2017, 2018, 2020 dan 2023 yang nantinya diatasi dengan penanaman bambu.

Tabel 5.58 Defisit air yang dapat diatasi dengan menggunakan pohon gaharu (Tahun 2017 sampai dengan 2023)

No	Kecamatan	<i>Lahan Semak Belukar (Konservasi)</i>	Simpanan Lengas	Defisit Air Yg Diatasi dgn Gaharu
		m <sup>2</sup>		
1	Turen	8.818.560	0,2125	1.873.944
2	Gondanglegi	4.360.320	0,2125	926.568
3	Sumbermanjing	4.890.240	0,2125	1.039.176
4	Pagelaran	4.636.800	0,2125	985.320
5	Gedangan	2.661.120	0,2125	565.488
6	Bantur	4.291.200	0,2125	911.880
7	Pagak	2.240.640	0,2125	476.136
Total		<b>31.898.880</b>		<b>6.778.512</b>

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari tabel diatas dapat kita ketahui bahwa defisit air pada tahun 2017 sampai dengan 2023 dapat diatasi dengan menanam pohon Gaharu sebesar 6.778.512 m<sup>3</sup>. Luas lahan yang dibutuhkan untuk menanam pohon Gaharu seluas 31.898.880 m<sup>2</sup> sama dengan 3.189,89 ha (31,90 km<sup>2</sup>).

Tabel 5.58a Sisa defisit air yang akan diatasi dengan tanaman bambu

No	Kecamatan	Defisit Air Yg Diatasi dgn Gaharu	Sisa Defisit Air Per Tahun (m <sup>3</sup> )			
		m <sup>3</sup>	2017	2018	2020	2023
1	Turen	1.873.944	267.113			
2	Gondanglegi	926.568		335.252		
3	Sumbermanjing	1.039.176				
4	Pagelaran	985.320			1.185.322	
5	Gedangan	565.488				
6	Bantur	911.880				2.493.577
7	Pagak	476.136				
Total		<b>6.778.512</b>	<b>267.113</b>	<b>335.252</b>	<b>1.185.322</b>	<b>2.493.577</b>

Sumber: Hasil Perhitungan

Kebutuhan lahan untuk bambu pada tahun 2017 sampai 2023 dapat dilihat pada Tabel 5.58b.

Tabel 5.58b Kebutuhan Lahan Bambu pada tahun 2017 s.d 2023

No	Kecamatan	Kebutuhan Lahan (m <sup>2</sup> )			
		2017	2018	2020	2023
1	Turen	1.068.454	-	-	-
2	Gondanglegi	-	1.341.008	-	-
3	Sumbermanjing	-	-	-	-
4	Pagelaran	-	-	4.741.289	-
5	Gedangan	-	-	-	-
6	Bantur	-	-	-	9.974.308
7	Pagak	-	-	-	-
Total		<b>1.068.454</b>	<b>1.341.008</b>	<b>4.741.289</b>	<b>9.974.308</b>

Sumber: Hasil Perhitungan

## 2. Sebaran Vegetasi

Penyebaran vegetasi diprioritaskan pada wilayah sub DAS Lesti yang mengalami krisis air dan lahan yang menjadi semak belukar. Agar sebaran vegetasi dapat diimplementasikan dilapangan, maka harus disesuaikan dengan beberapa faktor pendukung, antara lain: jenis vegetasi; jenis tanah; kemiringan tanah; kemampuan tanaman menyerap air dan tata guna lahan. Berikut adalah kesesuaian jenis vegetasi (pohon gaharu) terhadap topografi, jenis tanah, kemiringan lereng dan kemampuan tanaman menyerap air (Tabel. 5.59).

Tabel 5.59. Sebaran Vegetasi (Pohon Gaharu)

No	Kecamatan	Kemiringan Lereng	Jenis Tanah	Lahan untuk Penanaman Pohon Gaharu (m <sup>2</sup> )			
		%		2017	2018	2020	2023
1	Turen	0 - 15 % (datar - landai)	Andosol, Aluvial, Latasol	8.818.560			
2	Gondanglegi				9.250.560		
3	Sumbermanjing					7.297.920	
4	Pagelaran						
5	Gedangan						
6	Bantur						
7	Pagak						6.531.840
	Total			8.818.560	9.250.560	7.297.920	6.531.840

Sumber: Hasil Perhitungan

Sebaran pohon Gaharu tersebut ditempatkan pada tutupan lahan yang kondisinya sangat buruk yaitu lahan semak belukar. Sebaran untuk bambu dapat dilihat pada Tabel 5.59a.

Tabel 5.59a. Sebaran Vegetasi (Bambu)

No	Kecamatan	Kemiringan Lereng	Jenis Tanah	Lahan untuk Penanaman Bambu (m <sup>2</sup> )			
		%		2017	2018	2020	2023
1	Turen	0 - 60 % (datar - curam)	Andosol, Aluvial, Latasol	1.068.454			
2	Gondanglegi				1.068.454		
3	Sumbermanjing						
4	Pagelaran					1.068.454	
5	Gedangan						
6	Bantur						1.068.454
7	Pagak						
	Total			1.068.454	1.068.454	1.068.454	1.068.454

Sumber: Hasil Perhitungan

### 5.7.2. Analisis Metode Mekanis

#### 1. Pemanen Air Hujan dengan Atap Bangunan (*Roof of Rain Water Harvesting*)

Pemanen air hujan adalah suatu cara mengumpulkan atau menampung air hujan ketika curah hujan tinggi dan kemudian dimanfaatkan saat cuaca hujan rendah atau pun sama sekali tidak turun hujan (Marmoyo, 2015). Teknik pemanenan air hujan dengan atap bangunan pada prinsipnya dilakukan dengan memanfaatkan atap bangunan (rumah) sebagai daerah tangkapan airnya (*catchment area*). Air hujan yang jatuh di atas atap kemudian disalurkan melalui talang untuk selanjutnya dikumpulkan dan ditampung ke dalam tangki atau bak penampung air hujan. Komponen utama konstruksi tampungan air hujan terdiri dari:

- Atap rumah
- Saluran pengumpul
- Filter untuk menyaring daun-daun atau kotoran
- Bak penampung air hujan

Heryani (2009) dalam tulisannya yang berjudul “Teknik Panen Hujan”, menjelaskan bahwa, potensi jumlah air yang dapat dipanen dari suatu bangunan atap dapat diketahui melalui perhitungan secara sederhana, sebagai berikut:

$$Q = A \times P \times C$$

Dimana:

Q = volume air hujan yang dapat dipanen (m<sup>3</sup>)

P = curah hujan tahunan (mm)

C = koefisien runoff (%)

Contoh Perhitungan:

- Area tangkapan hujan dengan luas = 42 m<sup>2</sup> (direncanakan)
- Curah hujan tahunan = 2.122 mm/tahun (Tabel 5.6)  
= 2,122 m/tahun

Jumlah air yang dapat dipanen:

- Volume air hujan yang jatuh = 42 x 2,122  
= 89,12 m<sup>3</sup>/tahun
- Dengan asumsi hanya 80% dari total hujan yang dapat dipanen (20% hilang karena evapotranspirasi atau kebocoran), maka volume yang dapat dipanen:  
= 89,12 x 80%  
= 71,30 m<sup>3</sup>

Jumlah pemanen air hujan:

- Volume air yang dipanen = 71,30 m<sup>3</sup>
- Volume tampungan = 32 m<sup>3</sup> (4x4x2)m (direncanakan)

maka, jumlah pemanen air hujan:

$$\begin{aligned} &= \text{Vol. air yang dipanen} / \text{Vol. tampungan} \\ &= 71,30 / 32 \\ &= 2,2 \text{ buah} \sim 2 \text{ buah.} \end{aligned}$$

Jika diasumsikan rata-rata dalam satu keluarga terdiri dari 5 orang, dengan rata-rata konsumsi 94,87 ltr/org/hari, maka volume air tampungan mampu untuk mencukupi kebutuhan air satu keluarga selama:

Lama Air Tercukupi:

- Jumlah Org dlm 1 KK = 5 Orang
- Kebutuhan Air per Orang = 94,87 ltr/org/hari ~ 0,095 m<sup>3</sup>/org/hari
- Total kebutuhan air = 0,095 x 5 = 0,474 m<sup>3</sup>/hari
- Jumlah hari dalam 1 bulan = 31 hari

maka, lama air tercukupi:

$$\begin{aligned} &= \text{Vol. Air yg dipanen} / \text{Total kebutuhan air} \\ &= 71,30 / 0,474 \\ &= 150,3 \text{ hari} \sim 5 \text{ bulan} \end{aligned}$$

Karena masa kekeringan di Sub DAS Lesti selama 5 bulan, maka dengan tampungan seluas 32 m<sup>3</sup> sebanyak 2 buah kebutuhan air domestik dapat terpenuhi.

Kriteria teknis pemanen air hujan dengan media atap, antara lain:

- 1) Pemanfaatan pemanen air hujan (*rain water harvesting*) dengan menggunakan atap rumah ini dapat dilakukan pada daerah yang memiliki kemiringan tidak lebih dari 5% atau daerah datar hingga landai. Hal ini sangat berpengaruh terhadap distribusi run off dan erosi tanah dan pembiayaan.
- 2) Dimensi area tangkapan air hujan (atap) dapat dibuat sesuai kebutuhan, semakin besar dimensinya, maka potensi air yang dipanen semakin banyak.
- 3) Bagian dinding dan lantai kerja bak penampungan air (*reservoir*) sebaiknya di cor agar tidak meresap kebagian horizontal maupun vertikal tanah.

## **2. Pembuatan Embung**

Seperti teknik pemanen air hujan lainnya, embung merupakan solusi terbaik untuk menampung air pada musim kering. Kelebihan curah hujan pada musim hujan ditampung untuk digunakan pada musim kemarau. Pada tesis ini untuk menghitung tampungan embung didasarkan pada 2 hal. Hal tersebut antara lain:

- 1) Defisit air untuk kebutuhan domestik dan non domestik,
- 2) Defisit air hanya terhadap kebutuhan domestik dan peternakan.

Berdasarkan Tabel 5.55 dapat diketahui defisit air tiap tahunnya. Untuk mengatasi masalah tersebut dibutuhkan embung dengan volume tampungan sebesar defisit air tiap tahun. Untuk menghitung volume tampungan yang diperlukan berdasarkan kebutuhan air (defisit air) ( $V_n$ ) adalah:

$$V_n = V_u + V_e + V_i + V_s$$

$$V_i = K \times V_u$$

$$V_s = 0,05 \times V_u$$

Dimana:

$V_n$  = Volume tampungan berdasarkan defisit air ( $m^3$ )

$V_u$  = Volume tampungan hidup untuk melayani defisit ( $m^3$ )

$V_e$  = Jumlah penguapan dari kolam selama musim kemarau ( $m^3$ )

$V_i$  = Jumlah resapan melalui dasar dinding dan tubuh embung selama musim kemarau ( $m^3$ )

$V_s$  = Ruang yang disediakan untuk sedimen ( $m^3$ )

$K$  = Faktor yang nilainya tergantung dari sifat lolos air material dasar dan dinding kolam embung, nilai  $K = 10\%$  bila dasar dan dinding kolam embung rapat air ( $K < 10^{-5}$  cm/dt); nilai  $K = 25\%$  bila dasar dan dinding kolam embung semi lolos air ( $K = 10^{-3}$  s/d  $10^{-4}$  cm/dt).

1) Perhitungan Volume Tampungan Embung terhadap Defisit Air (kebutuhan domestik dan non domestik).

- Volume tampungan hidup ( $V_u$ ) untuk melayani defisit (Tabel 5.55), pada tahun 2016 = 2.009.138  $m^3$ .

- Jumlah Penguapan dari kolam selama musim kering

Penguapan selama musim kemarau perlu diperhitungkan dalam penentuan volume embung. Untuk mengetahui jumlah penguapan di kolam embung dengan persamaan:

$$V_e = 10 \times A_{kt} \times \sum k_j$$

Dimana:

$V_e$  = Jumlah penguapan dari kolam embung selama musim kering ( $m^3$ )

$A_{kt}$  = Luasan permukaan kolam embung pada setengah tinggi (ha)

$\sum k_j$  = Penguapan bulanan di musim kemarau (mm/bln)



Berdasarkan hasil perhitungan penguapan pada Tabel 5.30, tertera hasil analisa penguapan selama bulan kering. Bulan kering tersebut mulai bulan Juli sampai Nopember. Tabel 5.60 adalah penguapan pada bulan kering. Dengan persamaan diatas dapat diketahui volume penguapan. Tabel 5.61 adalah volume penguapan pada bulan kering.

Tabel 5.60 Penguapan Pada Musim Kemarau

No	Bulan	Penguapan (rata-rata) mm/bulan
1	Juli	83,02
2	Agustus	85,21
3	September	94,43
4	Oktober	114,91
5	Nopember	115,16

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 5.61 Volume Penguapan Kolam Embung

No	Bulan	Luas Genangan	Penguapan (rata-rata)		Volume Penguapan
		(m <sup>2</sup> )	(mm/bulan)	(m/bulan)	(m <sup>3</sup> )
1	Juli	200.000	83,02	0,083	166.039
2	Agustus	200.000	85,21	0,085	170.426
3	September	200.000	94,43	0,094	188.863
4	Oktober	200.000	114,91	0,115	229.819
5	Nopember	200.000	115,16	0,115	230.323
Jumlah Volume Penguapan					985.470

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari Tabel 5.60 pada tahun 2016 diketahui volume penguapannya 985.470 m<sup>3</sup>.

- Jumlah resapan melalui dasar dan dinding embung ( $V_i$ ) = 0  
Untuk resapan dianggap 0, karena dasar dan dinding embung dilapisi geotextile sehingga tidak ada air yang meresap.
- Ruang yang disediakan untuk sedimen ( $V_s$ )  
Direncanakan ruang sedimen 5% dari Volume hidup embung ( $V_u$ )  

$$V_s = 0,05 \times 2.009.138 \text{ m}^3$$

$$V_s = 100.457 \text{ m}^3$$

Maka, volume kolam embung berdasarkan kebutuhan air (defisit air) ( $V_n$ ) pada tahun 2016 sebesar:  $V_n = V_u + V_e + V_i + V_s$

$$= 2.009.138 + 985.470 + 0 + 100.457$$

$$= 3.095.056 \text{ m}^3$$

Tabel 5.71 akan memperlihatkan kebutuhan volume kolam embung pada tahun 2016, 2017, 2018, 2020 dan 2023.

Tabel 5.71. Kebutuhan Volume Kolam Embung (Domestik + Non Domestik)

Tahun	Volume Hidup Embung ( $V_u$ )	Volume Ruang Sedimen ( $V_e$ )	Volume Resapan ( $V_i$ )	Volume Penguapan ( $V_s$ )	Volume Total Embung ( $V_n$ )
	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )
2016	2.009.138	100.457	0	985.470	3.095.065
2017	2.141.057	107.053	0	985.470	3.233.581
2018	2.300.996	115.050	0	985.470	3.401.516
2020	2.736.130	136.807	0	985.470	3.858.407
2023	3.881.593	194.080	0	985.470	5.061.143

Sumber: Hasil Perhitungan

Untuk memenuhi volume total embung seperti pada Tabel 5.71 maka dapat direncanakan dimensi embung dan jumlah kebutuhannya.

Contoh Perhitungan, untuk tahun 2016:

- Direncanakan dimensi =  $(500 \times 400 \times 4)\text{m}$
- Volume Embung rencana =  $(500 \times 400 \times 4)\text{m} = 800.000 \text{ m}^3$
- Volume Total Embung =  $3.095.065 \text{ m}^3$  (Tabel 5.70)
- Kebutuhan Embung =  $\text{Vol. Total Embung} / \text{Vol. Embung Renc.}$   
 $= 3.095.065 / 800.000$   
 $= 4 \text{ Buah}$
- Luas lahan yang dibutuhkan =  $(500 \times 400)\text{m} = 200.000\text{m}^2 \sim 20 \text{ ha}$
- Total Luas lahan yang dibutuhkan =  $20 \times 4 = 80 \text{ ha}$

Maka berdasarkan hitungan tersebut dapat diketahui untuk memenuhi defisit air pada tahun 2016 dibutuhkan embung sebanyak 4 buah dengan total luas kebutuhan 80 ha. Tabel 5.72 akan menunjukkan kebutuhan embung tiap tahunnya (2016, 2017, 2018, 2020 dan 2023)

Tabel 5.72 Kebutuhan Embung (Domestik + Non Domestik)

Tahun	Vol. Embung Rencana	Volume Total Embung (yg dibutuhkan)	Kebutuhan Embung	Luas Lahan	Kebutuhan Luas Lahan Total
	(m3)	(m3)	(unit)	(ha)	(ha)
2016	800.000	3.095.065	4	20	80
2017	800.000	3.233.581	4	20	80
2018	800.000	3.401.516	4	20	80
2020	800.000	3.858.407	5	20	100
2023	800.000	5.061.143	6	20	120

Sumber: Hasil Perhitungan

- 2) Perhitungan Volume Tampungan Embung terhadap Defisit Air (kebutuhan domestik dan peternakan).

Dengan perhitungan yang sama, namun yang membedakan adalah volume tampungan hidup embung didasarkan pada disifir air untuk kebutuhan domestik dan peternakan. Tabel 5.73 memperlihatkan defisit air tersebut.

Tabel 5.73 Desifit Air terhadap Kebutuhan Domestik dan Peternakan

Tahun	Ketersediaan Air (m3)	Kebutuhan Air (m3)	Keseimbangan Air (m3)	Kondisi	Lama Defisit
2016	2.396.820	3.885.197	(1.488.377)	Defisit	4
2017	2.396.820	3.987.051	(1.590.231)	Defisit	4
2018	2.396.820	4.110.442	(1.713.622)	Defisit	4
2020	2.396.820	4.445.812	(2.048.992)	Defisit	4
2023	2.396.820	5.327.609	(2.930.789)	Defisit	5

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari tabel 5.60 dapat diketahui bahwa volume penguapan sebesar

- Jumlah resapan melalui dasar dan dinding embung ( $V_i$ ) = 0  
Untuk resapan dianggap 0, karena dasar dan dinding embung dilapisi geotextile sehingga tidak ada air yang meresap.
- Ruang yang disediakan untuk sedimen ( $V_s$ )  
Direncanakan ruang sedimen 5% dari Volume hidup embung ( $V_u$ )  

$$V_s = 0,05 \times 2.009.138 \text{ m}^3$$

$$V_s = 100.457 \text{ m}^3$$

Maka, volume kolam embung berdasarkan kebutuhan air (defisit air) ( $V_n$ ) pada tahun 2016 (Tabel 5.72) sebesar:  $V_n$

$$\begin{aligned} &= V_u + V_e + V_i + V_s \\ &= 1.488.377 + 74.419 + 0 + 788.376 \\ &= 2.351.172 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Tabel 5.74 akan memperlihatkan kebutuhan volume kolam embung pada tahun 2016, 2017, 2018, 2020 dan 2023.

Tabel 5.74. Kebutuhan Volume Kolam Embung (Domestik + Peternakan)

Tahun	Volume Hidup Embung ( $V_u$ )	Volume Ruang Sedimen ( $V_e$ )	Volume Resapan ( $V_i$ )	Volume Penguapan ( $V_s$ )	Volume Total Embung ( $V_n$ )
	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )
2016	1.488.377	74.419	0	788.376	2.351.172
2017	1.590.231	79.512	0	788.376	2.458.119
2018	1.713.622	85.681	0	788.376	2.587.679
2020	2.048.992	102.450	0	788.376	2.939.817
2023	2.930.789	146.539	0	788.376	3.865.704

Sumber: Hasil Perhitungan

Untuk memenuhi volume total embung seperti pada Tabel 5.74 maka dapat direncanakan dimensi embung dan jumlah kebutuhannya.

Contoh Perhitungan, untuk tahun 2016:

- Direncanakan dimensi = (500 x 400 x 4)m
- Volume Embung rencana = (500 x 400 x 4)m = 800.000 m<sup>3</sup>
- Volume Total Embung = 2.548.266 m<sup>3</sup> (Tabel 5.73)
- Kebutuhan Embung = Vol. Total Embung / Vol. Embung Renc.  
= 2.548.266 / 800.000  
= 3 Buah
- Luas lahan yang dibutuhkan = (500 x 400)m = 200.000m<sup>2</sup> ~ 20 ha
- Total Luas lahan yang dibutuhkan = 20 x 3 = 64 ha

Maka berdasarkan hitungan tersebut dapat diketahui untuk memenuhi defisit air pada tahun 2016 dibutuhkan embung sebanyak 3 buah dengan total luas kebutuhan 64 ha. Tabel 5.75 akan menunjukkan kebutuhan embung tiap tahunnya (2016, 2017, 2018, 2020 dan 2023).

Tabel 5.75. Kebutuhan Embung (Domestik + Peternakan) 2016-2023

Tahun	Vol. Embung Rencana	Volume Total Embung (yg dibutuhkan)	Kebutuhan Embung	Luas Lahan	Kebutuhan Luas Lahan Total
	(m3)	(m3)	(unit)	(ha)	(ha)
2016	800.000	2.548.266	3	20,0	60
2017	800.000	2.655.213	3	20,0	60
2018	800.000	2.784.773	3	20,0	60
2020	800.000	3.136.912	4	20,0	80
2023	800.000	4.062.798	5	20,0	100

Sumber: Hasil Perhitungan

Pada tesis ini pemanfaatan embung hanya untuk pemenuhan air baku untuk kebutuhan domestik dan peternakan.

Agar embung dapat diterapkan dilapangan, maka ada kriteria teknis yang harus dipenuhi. Kriteria Teknis yang diperlukan untuk pembangunan embung, sebagai berikut:

- 1) Embung dapat dibangun pada daerah cekungan (gully) yang di atasnya ada tangkapan air untuk menampung air hujan dan aliran permukaan pada saat hujan, dan/atau terdapat sumber/mata air yang selalu tersedia sepanjang tahun maupun sungai kecil yang airnya dapat ditampung masuk kedalam embung.
- 2) Embung diupayakan tidak dibangun pada tanah yang berpasir, porous (mudah terjadi resapan air) yang menyebabkan air cepat hilang.
- 3) Bila terpaksa dibangun di tempat yang porous, maka dasar embung harus dilapisi (linning/plastik/tanah liat).
- 4) Embung sebaiknya dibuat pada areal yang bergelombang dengan kemiringan antara 8-30%. Agar limpahan air permukaan dapat dengan mudah mengalir ke dalam embung. Apabila pada lahan yang datar akan sulit untuk mengisi air limpasan ke dalam embung, sedangkan pada lahan yang terlalu miring (>30%), embung akan cepat penuh dengan endapan tanah karena erosi.

- 5) Penempatan lokasi embung sebaiknya berada dekat dengan areal tanaman hortikultural, perkebunan dan peternakan yang membutuhkan air sebagai suplesi pada musim kemarau.
- 6) Pelaksanaan konservasi air melalui pembangunan embung dapat dilakukan dengan hanya melalui penggalian tanah/lubang dengan volume tampungan air sesuai dengan kebutuhan.
- 7) Lokasi tempat embung status kepemilikannya jelas (tidak dalam sengketa).

Berdasarkan kriteria tersebut diatas, penempatan embung dapat ditempatkan di beberapa kecamatan seperti pada Tabel 4.4. tentang luasan kondisi lereng di Sub DAS Lesti. Dari tabel tersebut kecamatan yang memenuhi antara lain: Kecamatan Turen; Gondanglegi; Sumbermanjing; Pagelaran; Gedangan; Bantur dan Pagak.

## **5.8. Analisis Finansial**

### **5.8.1. Komponen Biaya**

Dalam melakukan analisa finansial suatu proyek terdapat beberapa komponen biaya yang harus diperhitungkan. Komponen biaya (*cost*) terdiri dari :

#### **a. Biaya konstruksi ( $C_1$ )**

Biaya konstruksi proyek dihitung berdasarkan pada estimasi terakhir. Bila estimasi terakhir dilakukan beberapa tahun sebelumnya, dalam evaluasi perlu dilakukan penyesuaian dengan tingkat harga saat analisa dilakukan dengan memakai tingkat inflasi yang terjadi.

Biaya konstruksi rehab. embung ini meliputi antara lain pekerjaan pasangan batu, beton, Geoteksite, bangunan pelimpah, dan fasilitas lainnya.

#### **b. Biaya *engineering* ( $C_2$ )**

Biaya *engineering* ini meliputi biaya supervise oleh proyek atau oleh konsultan pengawas, biaya-biaya survey, investigasi, desain, *supporting studies*, *detail design*, dokumen tender, dokumen kontrak, dll. Biasanya besar biaya *engineering* ini berkisar antara 5 – 10 % dari *capital costs*.

- c. Biaya pembebasan tanah dan pemukiman penduduk kembali ((C<sub>3</sub>))

Biaya pembebasan tanah dan pemukiman penduduk (*land acquisition and resettlement cost*) diperlukan untuk keperluan konstruksi. Pemukiman penduduk diperlukan kalau terpaksa ada penduduk yang harus dipindahkan akibat lahan atau tempat tinggalnya akan tergenang air waduk atau terkena lokasi proyek.

- d. Biaya yang diperlukan untuk pembayaran pajak-pajak (C<sub>4</sub>)

- e. Biaya operasi dan pemeliharaan (C<sub>5</sub>)

Biaya operasi dan pemeliharaan (*Operation & Maintenance*) dihitung berdasarkan atas biaya tahunan yang diperlukan untuk operasi dan pemeliharaan. Biaya OM termasuk biaya upah untuk *staff*, biaya *OM Buildings, structures, roads, dan power supply*.

- f. Biaya penggantian (C<sub>6</sub>)

Biaya penggantian (*replacement*) adalah biaya yang akan dikeluarkan untuk mengganti bagian-bagian proyek yang rusak atau aus selama umur ekonomisnya.

- g. Biaya administrasi proyek (C<sub>7</sub>)

Biaya administrasi proyek yaitu biaya untuk biaya lain-lain seperti biaya administrasi, *training, phisycal contingencies, dan price contingencie*.

Keseluruhan jumlah biaya tersebut di atas merupakan nilai/harga finansial dari komponen biaya. Analisis finansial pada tesis ini hanya untuk komponen-komponen biaya (*cost*) C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>4</sub>, dan C<sub>5</sub> saja.

### 5.8.2. Manfaat Proyek

Keuntungan suatu proyek dapat berupa keuntungan langsung (*direct benefit*), keuntungan tidak langsung (*indirect benefit*), dan ada pula keuntungan yang tidak dapat dinilai dengan uang (*intangible benefit*). Sebagai contoh manfaat (*benefit*) yang diperoleh dari proyek pembangunan embung bisa berupa uang tetapi dapat pula berupa peningkatan kualitas hidup masyarakat, sebagai contoh adalah semakin terjaminnya ketersediaan air untuk air baku (air bersih) dan

ketersediaan air untuk kebutuhan domestik lainnya yang berdampak positif langsung terhadap kebutuhan air sehari-hari. Keuntungan atau manfaat (*benefit*) proyek adalah peningkatan pendapatan bersih (*Net Incremental Benefit*), yaitu selisih antara pendapatan bersih pada saat mendatang “*dengan proyek*” dan “*tanpa proyek*” termasuk penurunan kerugian bersih, yaitu selisih antara kerugian pada saat mendatang “*dengan proyek*” dan “*tanpa proyek*”. Komponen yang biasa dipakai sebagai dasar perhitungan *benefit* proyek dihitung berdasarkan 3 keadaan yaitu :

- a) Keadaan saat ini (*present condition*).
- b) Keadaan saat mendatang tanpa proyek (*future without project*).
- c) Keadaan saat mendatang dengan proyek (*future with project*).

Dari komponen-komponen tersebut di atas dapat diperkirakan besarnya keuntungan bersih (*net benefit*), yaitu pendapatan/keuntungan dikurangi biaya yang dikeluarkan. Benefit air baku berdasarkan ketersediaan air kondisi saat ini (existing) dan kondisi dengan adanya proyek embung, maka dapat dihitung manfaat ekonomi. Benefit ini berasal dari harga air sebelum proyek dengan harga air karena adanya proyek pembangunan embung.

### **5.8.3. Indikator Kelayakan Finansial**

Untuk mendapatkan ukuran yang menyeluruh sebagai dasar penilaian kelayakan proyek pembangunan dibutuhkan kriteria tertentu. Kriteria-kriteria yang umum dan dianjurkan dalam evaluasi kelayakan proyek (indikator kelayakan finansial) adalah:

- Benefit Cost Ratio (BCR)  $> 1$
- Net Present Value (NPV)
- Internal Rate of Return (IRR)  $> 11\%$  (suku bunga bank pinjaman)

### **5.8.4. Analisis Biaya Investasi Pembuatan Embung**

Biaya modal/investasi terdiri dari 2 macam yaitu biaya langsung dan biaya tak langsung. Biaya langsung antara lain: biaya konstruksi. Biaya tak langsung antara lain: *contingencies*, biaya teknik, pajak, biaya administrasi.



Berdasarkan hasil studi pembuatan Embung Kucur-kucur di Kabupaten Kediri pada tahun 2012 dengan kapasitas tampung 76.122 m<sup>3</sup>, biaya konstruksi Rp. 6.355.940.000,-. Dari data tersebut dapat diketahui harga rata-rata per meter kubiknya adalah Rp. 83.497,-. Jika dengan tingkat inflasi rata-rata pada tahun 2015 sebesar 3,4% (Bank Indonesia, 2015) maka biaya rata-rata per kubiknya pada tahun 2016 menjadi Rp.86.336,-. Untuk pembangunan embung tahap dua (2020 s.d 2021) biaya rata-rata per meter kubik di tahun 2016 dikali nilai F/P dengan nilai  $n = 4$  tahun. Biaya konstruksi embung tahap kedua menjadi Rp. 192.474.718.300,-. Pada penelitian ini pemanfaatan embung hanya untuk pemenuhan kebutuhan domestik dan peternakan pada musim kemarau. Berdasarkan Tabel 5.75 diketahui jumlah kebutuhan embung pada tahun 2017 s/d 2018 sebanyak 3 unit dengan kapasitas tampungan 800.000 m<sup>3</sup>. Jika harga per m<sup>3</sup> adalah Rp.86.336 maka dengan luas 800.000 m<sup>3</sup> biaya konstruksinya sebesar Rp. 69.068.515.900 per embung, jika butuh 3 embung menjadi Rp. 207.205.545.000,-. Tabel 5.76 memperlihatkan biaya investasi yang terdiri dari biaya langsung dan biaya tidak langsung.

Tabel 5.76. Biaya Investasi Embung

No	Uraian		Jumlah
1	Biaya Langsung		
	1.1	Biaya Konstruksi	207.205.545.000
		Total Biaya Langsung	207.205.545.000
2	Biaya Tak Langsung		
	2.1	Contigencies, 5% Biaya Langsung	10.360.277.250
	2.2	Biaya Teknik (Desain + Supervisi) 10% Biaya Langsung	20.720.554.500
	2.3	Pajak, 10% Biaya Langsung	20.720.554.500
	2.4	Biaya Administrasi, 2,5% Biaya Langsung	5.180.138.625
	2.5	Pembebasan Lahan	-
		Total Biaya Tidak Langsung	56.981.524.875
3	Biaya Investasi		
	3.1	Biaya Langsung	207.205.545.000
	3.2	Biaya Tidak Langsung	56.981.524.875
		Total Biaya Investasi	264.187.069.875

Sumber: Hasil Perhitungan

Biaya investasi untuk membangun embung 3 buah yang dilakukan dari tahun 2017 s/d 2018 sebesar Rp. 264.187.069.875,-. Bila diasumsikan biaya O&P tiap tahun 2% dari Biaya Konstruksi, maka biaya O&P tiap tahun Rp. 4.144.110.900,-

#### 5.8.5. Analisis Manfaat

Manfaat/keuntungan per tahun dari pembangunan embung ini dapat dihitung dengan biaya investasi dikonfersi dengan nilai suku bunga bank. Dalam tesis ini nilai suku bunga bank pinjaman proyek pemerintah yang digunakan sebesar 11% (Bank Indonesia, 2016). Perhitungan keuntungan pertahun dapat dilihat pada Tabel 5.77.

Tabel 5.77. Perhitungan Keuntungan Per Tahun

a	Biaya Proyek	264.187.069.875,00	
b	F/P,11%,1	1,110	
c	A/P,11%,20	0,125	
d	Sub total (a x b x c)		36.655.955.945
e	Biaya O & P		4.144.110.900
f	Total (d + e)		40.800.066.845
g	Produksi Air baku (m <sup>3</sup> /tahun)	2.662.750,87	
h	Nilai air/m <sup>3</sup> ( f/g)		16.677,00
i	Nilai air/ltr		16,68
j	Keuntungan air pertahun (g x h)		44.406.696.274

Sumber: Hasil Perhitungan

Dengan menggunakan aplikasi Excel perhitungan BCR, NPV dan IRR dapat dilakukan dengan lebih mudah.

#### 5.8.6. Analisis BCR, NPV dan IRR

Dengan melihat Tabel 5.78 dapat diketahui pembangunan 3 embung yang dikerjakan pada tahun 2017 sampai 2018 dengan suku bunga bank pinjaman 11% pertahun nilai IRR sebesar 13,89% > 11%; BCR, i (11%) = 1,05 > 1 dan NPV, i (11%) Rp. 40.390.322.590,-. Jika menggunakan suku bunga (i) 12% pertahun nilai IRR sebesar 13,89% > 12%; BCR, i (12%) = 1,00 >1 dan NPV, i (12%) Rp. 24.608.958.054,-. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa pembangunan 3 embung tersebut secara finansial layak dilaksanakan.

Dengan melihat Tabel 5.79 dapat diketahui penambahan pembangunan 2 yang dikerjakan pada tahun 2020 sampai 2021 dengan suku bunga bank pinjaman 11% pertahun nilai IRR sebesar  $14,51\% > 11\%$ ;  $BCR, i (11\%) = 1,08 > 1$  dan  $NPV, i (11\%)$  Rp. 35.983.932.804,-. Jika menggunakan suku bunga (i) 12% pertahun nilai IRR sebesar  $14,51\% > 12\%$ ;  $BCR, i (12\%) = 1,03 > 1$  dan  $NPV, i (12\%)$  Rp. 23.980.632.992,-. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa pembangunan 2 embung tersebut secara finansial layak dilaksanakan.

Tabel 5.78 Nilai BCR, NPV dan IRR (Pembangunan 3 Embung, 2017 s/d 2018)

**ANALISA KELAYAKAN FINANSIAL**  
**EMBUNG Sub DAS Lesti**

Tahun Pelaksanaan: 2017 s/d 2018

**Annual Cost :**

Tahun I Rp. 264.187.069.875

Biaya O & P = Rp. 4.144.110.900

Benefit airbaku = Rp. 44.406.696.274

Umur Konstruksi (th) = 20

Tahun ke-	Investasi (Rp)	Biaya O & P (Rp)	Manfaat (Rp)	Manfaat Bersih (Rp)
0	264.187.069.875		0	0
1		0	0	(264.187.069.875)
2		4.144.110.900	44.406.696.274	40.262.585.374
3		4.144.110.900	44.406.696.274	40.262.585.374
4		4.144.110.900	44.406.696.274	40.262.585.374
5		4.144.110.900	44.406.696.274	40.262.585.374
6		4.351.316.445	44.406.696.274	40.055.379.829
7		4.351.316.445	44.406.696.274	40.055.379.829
8		4.351.316.445	44.406.696.274	40.055.379.829
9		4.351.316.445	44.406.696.274	40.055.379.829
10		4.351.316.445	44.406.696.274	40.055.379.829
11		4.568.882.267	44.406.696.274	39.837.814.007
12		4.568.882.267	44.406.696.274	39.837.814.007
13		4.568.882.267	44.406.696.274	39.837.814.007
14		4.568.882.267	44.406.696.274	39.837.814.007
15		4.568.882.267	44.406.696.274	39.837.814.007
16		4.797.326.381	44.406.696.274	39.609.369.893
17		4.797.326.381	44.406.696.274	39.609.369.893
18		4.797.326.381	44.406.696.274	39.609.369.893
19		4.797.326.381	44.406.696.274	39.609.369.893
20		4.797.326.381	44.406.696.274	39.609.369.893
Economic Internal Rate of Return (EIRR)				<b>13,89%</b>
Net Present Value (NPV, i = 10%)				58.458.513.224,17
<b>Net Present Value (NPV, i = 11%)</b>				<b>40.390.322.590,92</b>
Net Present Value (NPV, i = 12%)				24.608.958.054,24
Net Present Value (NPV, i = 14%)				(1.292.744.914,09)
Benefit Cost Ratio (BCR, i = 10%)				1,14
<b>Benefit Cost Ratio (BCR, i = 11%)</b>				<b>1,05</b>
Benefit Cost Ratio (BCR, i = 12%)				1,00
Benefit Cost Ratio (BCR, i = 14%)				0,88

Sumber:Hasil Perhitungan

Meskipun secara finansial pembangunan embung tahap pertama untuk dilaksanakan, dimana nilai  $BCR_i (11\%) = 1,05 > 1$ , namun agar nilai BCR lebih besar, diharapkan nilai suku bunga bank pinjaman rata-rata pertahun sebesar 10%.

Tabel 5.79 Nilai BCR, NPV dan IRR (Pembangunan 2 Embung, 2020 s/d 2021)

ANALISA KELAYAKAN FINANSIAL EMBUNG Sub DAS Lesti				
Tahun Pelaksanaan: 2020 s/d 2021				
<b>Annual Cost :</b>				
Tahun I	Rp.	192.476.718.300	Biaya O & P	= Rp. 3.019.242.640
			Benefit airbaku	= Rp. 33.383.614.327
			Umur Konstruksi (th)	= 20
Tahun ke-	Investasi (Rp)	Biaya O & P (Rp)	Manfaat (Rp)	Manfaat Bersih (Rp)
0	192.476.718.300		0	0
1		0	0	(192.476.718.300)
2		3.019.242.640	33.383.614.327	30.364.371.687
3		3.019.242.640	33.383.614.327	30.364.371.687
4		3.019.242.640	33.383.614.327	30.364.371.687
5		3.019.242.640	33.383.614.327	30.364.371.687
6		3.170.204.772	33.383.614.327	30.213.409.555
7		3.170.204.772	33.383.614.327	30.213.409.555
8		3.170.204.772	33.383.614.327	30.213.409.555
9		3.170.204.772	33.383.614.327	30.213.409.555
10		3.170.204.772	33.383.614.327	30.213.409.555
11		3.328.715.011	33.383.614.327	30.054.899.317
12		3.328.715.011	33.383.614.327	30.054.899.317
13		3.328.715.011	33.383.614.327	30.054.899.317
14		3.328.715.011	33.383.614.327	30.054.899.317
15		3.328.715.011	33.383.614.327	30.054.899.317
16		3.495.150.761	33.383.614.327	29.888.463.566
17		3.495.150.761	33.383.614.327	29.888.463.566
18		3.495.150.761	33.383.614.327	29.888.463.566
19		3.495.150.761	33.383.614.327	29.888.463.566
20		3.495.150.761	33.383.614.327	29.888.463.566
Economic Internal Rate of Return (EIRR)				<b>14,51%</b>
Net Present Value (NPV, i = 10%)				49.715.177.797,87
<b>Net Present Value (NPV, i = 11%)</b>				<b>35.983.932.804,08</b>
Net Present Value (NPV, i = 12%)				23.980.632.992,30
Net Present Value (NPV, i = 16%)				(10.958.687.140,02)
Benefit Cost Ratio (BCR, i = 10%)				1,17
<b>Benefit Cost Ratio (BCR, i = 11%)</b>				<b>1,08</b>
Benefit Cost Ratio (BCR, i = 12%)				1,03
Benefit Cost Ratio (BCR, i = 16%)				0,81

Sumber: Hasil Perhitungan

Meskipun secara finansial pembangunan embung tahap kedua layak untuk dilaksanakan, dimana nilai  $BCR_i (11\%) = 1,08 > 1$ , namun agar nilai BCR lebih besar, diharapkan nilai suku bunga bank pinjaman rata-rata pertahun sebesar 10%.

“ halaman ini sengaja dikosongkan.....”

## **BAB 6**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisa, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Defisit air terhadap kebutuhan domestik dan non domestik di Sub DAS Lesti terjadi selama 5 bulan (bulan kering), yaitu bulan Juli sampai Nopember. Defisit air terhadap kebutuhan domestik dan peternakan di Sub DAS Lesti terjadi selama 4 bulan (bulan kering), yaitu bulan Agustus sampai Nopember. Hal ini disebabkan kebutuhan domestik dan non domestik tiap tahun meningkat, sedangkan ketersediaan air nya cenderung tetap.
2. Defisit air di sub DAS Lesti pada tahun 2017 sebesar 2.141.057 m<sup>3</sup> dan tahun 2023 sebesar 3.881.593 m<sup>3</sup>.
3. Untuk mengatasi defisit air tersebut dilakukan upaya konservasi dengan 2 (dua) metode, antara lain metode vegetasi dan mekanik. Metode vegetasi meliputi: penanaman pohon gaharu dan bambu. Metode mekanis antara lain: pemanen air hujan dengan media atap dan pembangunan embung.
4. Luas lahan vegetasi yang dibutuhkan untuk menangani masalah defisit tersebut sampai tahun 2023 antara lain: pohon gaharu seluas 31,90 km<sup>2</sup>, dan bambu 17,12 km<sup>2</sup>. Penyebaran tanaman tersebut di 7 kecamatan yang mengalami krisis air. Kecamatan tersebut antara lain: Turen, Gondanglegi, Sumbermanjing, Pegelaran, Gedangan, Pagak dan Bantur.
5. Kebutuhan pemanen air hujan dengan media atap untuk keperluan domestik pada musim kemarau (5 bulan) sebanyak 2 bak penampung dengan kapasitas masing-masing 32 m<sup>3</sup> (4 x 4 x 2)m.
6. Pemanen air hujan selain dengan atap yaitu dengan pembangunan embung. Kebutuhan embung untuk mengatasi defisit air terhadap kebutuhan domestik dan peternakan sampai dengan tahun 2023 sebanyak 5 embung. 5 embung tersebut dikerjakan dengan 2 tahap. Tahan pertama

3 embung dengan kapasitas masing-masing 800.000 m<sup>3</sup> dengan biaya investasi Rp. 264.187.069.875,- dikerjakan pada tahun 2017 s/d 2018. Tahap ke dua 2 embung dengan kapasitas masing-masing 800.000 m<sup>3</sup> dengan biaya investasi Rp. 192.476.718.300,- dikerjakan pada tahun 2020 s/d 2021.

7. Dari aspek finansial pembangunan embung tahap pertama (3 embung) dengan suku bunga bank pinjaman 11% pertahun nilai  $IRR = 13,89\% > 11\%$ ;  $BCR, i (11\%) = 1,05 > 1$  dan  $NPV, i (11\%) = \text{Rp. } 40.390.322.590,-$ . Pembangunan embung tahap ke dua (2 embung) dengan suku bunga bank pinjaman 11% pertahun nilai  $IRR = 14,51\% > 11\%$ ;  $BCR, i (11\%) = 1,08 > 1$  dan  $NPV, i (11\%) = \text{Rp. } 35.983.932.804,-$ . Maka pembangunan embung tersebut secara finansial layak dilaksanakan.

## 6.2. Saran

Dalam penelitian ini masih terdapat beberapa hal yang harus dilengkapi, antara lain:

1. Karena keterbatasan data, perhitungan kebutuhan air dalam penelitian ini masih belum termasuk kebutuhan air irigasi, bagi Peneliti yang lain agar bisa melengkapinya.
2. Dalam menentukan luasan embung, penulis masih menggunakan luasan rencana (asumsi), seharusnya diperlukan data pengukuran lapangan.
3. Meskipun secara finansial pembangunan embung tahap pertama dan kedua layak untuk dilaksanakan, dimana nilai  $BCR, i (11\%) = 1,05$  dan  $1,08 > 1$ , namun agar nilai BCR lebih besar diharapkan nilai suku bunga bank pinjaman rata-rata pertahun sebesar 10%.
4. Upaya-upaya non teknis untuk meningkatkan manfaat kegiatan seperti peran serta masyarakat di wilayah sub DAS Lesti dalam menjaga tutupan lahan dengan menanam pohon gaharu dan bambu yang memiliki kemampuan penyimpanan air yang tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, S (1989), *Konservasi Tanah Dan Air*, IPB Press, Bogor.
- Asdak. C, (2010), *Hidrologi Dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, edisi kelima (revisi), Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Badan Penanggulangan Bencana Daerah (2014), *Kekeringan di Kabupaten Malang*, Kabupaten Malang.
- Balai Besar Wilayah Sungai Brantas (2013), *Data dan Informasi*, BBWS Brantas, Surabaya.
- Benyamin Lakitan (1994), *Dasar-dasar Klimatologi*. Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Britis Columbia (2002), *Soil Water Storage Capacity And Available Soil Moisture*, British Columbia, Canada.
- Crow, Peter (2005), *The Influece Of Soil And Species On Tree Root Depth*, Everonmental And Human Science Division, Endinburgh.
- Haryoso, B (2010), *Teknik Pemanen Air Hujan (Rain Water Harvesting) Sebagai Alternatif Upaya Penyelamatan Sumber Daya Air Di Wilayah DKI Jakarta*, Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca, Vol. 11, No.2, 2010, hal 29-39.
- Kodoatie, J.R , dan Sjarief, Roestam (2010), *Tata Ruang Air*, edisi pertama, Andi Offset, Yogyakarta.
- Lee, Richard, (1988), *Hidrologi Hutan*, edisi pertama, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Mega, M.I, Dibia, N.I dan Kusmiyarti, B.T (2010), *Klasifikasi Tanah Dan Kesesuaian Lahan*, Buku Ajar: Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Udayana, Denpasar.
- Mock, F.J, (1973), *Land Capability Appraisal Indonesia*, edisi pertama, Food And Agricultural Organization, Bogor.
- Pemerintah Kabupaten Malang (2014), *Kabupaten Malang Dalam Angka*, Badan Pusat Statistik Kabupaten Malang, Kabupaten Malang.



- Pemerintah Kabupaten Malang (2009), *Kabupaten Malang Dalam Angka*, Badan Pusat Statistik Kabupaten Malang, Kabupaten Malang.
- Prabowo, E (1994), *Bambu Untuk Kehidupan Masa Kini*, Yayasan Bambu Lingkungan Lestari, Ubud.
- Pusat Penelitian Dan Pengembangan Hutan (2012), *Budidaya Jenis Pohon Penghasil Gaharu*, Puslitbang Produktivitas Hutan, Departemen Kehutanan, Bogor
- Sidharno, W (2013), *Kajian Ketersediaan Air Baku Untuk Pemenuhan Kebutuhan Air Bersih Kota Kupang Dengan Skenario Dampak Perubahan Iklim*, Tesis Master., Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Surabaya.
- Soemarto. CD, (1999), *Hidrologi Teknik*, edisi kedua, Erlangga, Jakarta.
- Soewarno (2000), *Hidrologi Operasional*, Aditya Bakti, Bandung.
- Sosrodarsono, Suyono, dan Takeda, Kensaku (2003), *Hidrologi Untuk Pengairan*, edisi kesembilan, Pradya Paramita, Jakarta.
- Sumarna (2003), *Budidaya dan Rekayasa Produksi Gaharu, Sosialisasi dan Mikriza, Biro KLN dan Investasi*, Setjen Dephut, Jakarta.
- Suripin (2004), *Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Triatmojo, Bambang, (2014), *Hidrologi Terapan*, edisi keempat, Beta Offset, Yogyakarta.
- (<http://petanigaharu.blogspot.com>, 2013)

### Lampiran 5.1a. Analisis Debit Metode FJ.Mock Tahun 2004

Luas sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Kali Lesti = 635,000 km<sup>2</sup>

No	URAIAN			B U L A N											
				JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
1	Curah Hujan (R)	mm	Data	288,92	370,08	398,38	53,54	79,25	13,22	19,83	0,00	102,81	8,89	301,25	504,29
2	Hari Hujan (n)	hari	Data	17	19	18	7	5	1	3	0	1	1	14	19
<b>EVAPOTRANSPIRASI AKTUAL (Ea)</b>															
3	Evapotranspirasi potensial (ETo)	mm	Data	109,06	99,07	100,06	108,59	103,09	85,05	88,22	82,44	95,64	115,43	119,41	111,68
4	Permukaan Lahan Terbuka (m)	%	Asumsi	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
5	(m/20) . (18 - n)		Hitung	2,95	-2,53	0,53	28,75	31,38	42,25	38,53	45,00	41,35	42,73	9,08	-1,55
6	$\Delta E = (ETo) * (m/20) . (18 - n)$	mm	(3) * (5)	3,22	-2,50	0,53	31,22	32,34	35,93	33,99	37,10	39,55	49,32	10,84	-1,73
7	$Ea = ETo - \Delta E$	mm	(3) - (6)	105,85	101,57	99,54	77,37	70,74	49,11	54,24	45,34	56,09	66,11	108,57	113,42
<b>KELEBIHAN AIR (WS)</b>															
8	$Ds = P - Et$	mm	(1) - (7)	183,07	268,51	298,84	-23,83	8,51	-35,89	-34,41	-45,34	46,72	-57,22	192,68	390,87
9	Kandungan Air Tanah (SS)	mm	Hitung	0,00	0,00	0,00	-23,83	0,00	-35,89	-34,41	-45,34	0,00	-57,22	0,00	0,00
10	Kapasitas Kelembaban Tanah (SMC)	mm	200	200,00	200,00	200,00	176,17	184,68	148,78	114,38	69,04	115,75	58,53	200,00	200,00
11	Kelebihan Air (WS)	mm	(8) - (9)	183,07	268,51	298,84	0,00	8,51	0,00	0,00	0,00	46,72	0,00	192,68	390,87
<b>ALIRAN &amp; PENYIMPANAN AIR TANAH</b>															
12	Infiltrasi (I)	mm	i * (11)	73,23	107,40	119,54	0,00	3,40	0,00	0,00	0,00	18,69	0,00	77,07	156,35
13	$0,5 . (1+k) . I$		Hitung	22,47	32,72	36,36	0,50	1,52	0,50	0,50	0,50	6,11	0,50	23,62	47,40
14	$k . V_{(n-1)}$		Hitung	64,80	52,36	51,05	52,45	31,77	19,97	12,28	7,67	4,90	6,61	4,26	16,73
15	Volume Penyimpanan (GSn)	mm	(13) + (14)	87,27	85,08	87,41	52,95	33,29	20,47	12,78	8,17	11,01	7,11	27,88	64,14
16	Perubahan Volume Air ( $\Delta GSn$ )		$V_n - V_{(n-1)}$	-20,73	-2,19	2,33	-34,46	-19,66	-12,82	-7,69	-4,61	2,84	-3,90	20,78	36,25
17	Limpasan Dasar (BF)	mm	(12) - (16)	93,96	109,59	117,21	34,46	23,06	12,82	7,69	4,61	15,85	3,90	56,29	120,10
18	Limpasan Langsung (DR)	mm	(11) - (12)	109,84	161,10	179,31	0,00	5,10	0,00	0,00	0,00	28,03	0,00	115,61	234,52
19	Total Limpasan ( $Q_{tot}$ )	mm	(17) + (18)	203,80	270,69	296,52	34,46	28,17	12,82	7,69	4,61	43,88	3,90	171,90	354,62
<b>DEBIT ALIRAN SUNGAI</b>															
20	Debit Efektif ( $Q_{efektif}$ )	(m <sup>3</sup> /detik)	Hitung	48,32	68,60	70,30	8,44	6,68	3,14	1,82	1,09	10,75	0,93	42,11	84,07

Sumber: Hasil Perhitungan

Lampiran 5.1b. Analisis Debit Metode FJ.Mock Tahun 2005

No	URAIAN			B U L A N											
				JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
1	Curah Hujan (R)	mm	Data	181,70	234,02	331,61	254,63	1,61	120,36	113,96	12,19	110,91	208,46	149,20	549,14
2	Hari Hujan (n)	hari	Data	17	19	18	7	5	1	3	0	1	1	14	19
<b>EVAPOTRANSPIRASI AKTUAL (Ea)</b>															
3	Evapotranspirasi potensial (ETo)	mm	Data	110,15	101,28	110,09	102,06	101,60	97,33	87,92	87,65	100,22	113,86	109,70	103,49
4	Permukaan Lahan Terbuka (m)	%	Asumsi	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
5	(m/20) . (18 - n)		Hitung	2,95	-2,53	0,53	28,75	31,38	42,25	38,53	45,00	41,35	42,73	9,08	-1,55
6	$\Delta E = (ETo) * (m/20) . (18 - n)$	mm	(3) * (5)	3,25	-2,56	0,58	29,34	31,88	41,12	33,87	39,44	41,44	48,64	9,96	-1,60
7	$Ea = ETo - \Delta E$	mm	(3) - (6)	106,90	103,84	109,52	72,72	69,72	56,21	54,05	48,21	58,78	65,21	99,75	105,09
<b>KELEBIHAN AIR (WS)</b>															
8	$Ds = P - Et$	mm	(1) - (7)	74,80	130,18	222,09	181,91	-68,11	64,15	59,91	-36,02	52,13	143,25	49,45	444,05
9	Kandungan Air Tanah (SS)	mm	Hitung	0,00	0,00	0,00	0,00	-68,11	0,00	0,00	-36,02	0,00	0,00	0,00	0,00
10	Kapasitas Kelembaban Tanah (SMC)	mm	200	200,00	200,00	200,00	200,00	131,89	196,04	200,00	163,98	200,00	200,00	200,00	200,00
11	Kelebihan Air (WS)	mm	(8) - (9)	74,80	130,18	222,09	181,91	0,00	64,15	59,91	0,00	52,13	143,25	49,45	444,05
<b>ALIRAN &amp; PENYIMPANAN AIR TANAH</b>															
12	Infiltrasi (I)	mm	$i * (11)$	29,92	52,07	88,84	72,77	0,00	25,66	23,96	0,00	20,85	57,30	19,78	177,62
13	$0,5 . (1+k) . I$		Hitung	9,48	16,12	27,15	22,33	0,50	8,20	7,69	0,50	6,76	17,69	6,43	53,79
14	$k.V_{(n-1)}$		Hitung	64,80	44,57	36,41	38,14	36,28	22,07	18,16	15,51	9,61	9,82	16,50	13,76
15	Volume Penyimpanan (GSn)	mm	(13) + (14)	74,28	60,69	63,56	60,47	36,78	30,27	25,85	16,01	16,36	27,51	22,94	67,55
16	Perubahan Volume Air ( $\Delta GSn$ )		$V_n - V_{(n-1)}$	-33,72	-13,59	2,88	-3,10	-23,69	-6,51	-4,42	-9,84	0,35	11,15	-4,57	44,61
17	Limpasan Dasar (BF)	mm	(12) - (16)	63,64	65,66	85,96	75,86	23,69	32,17	28,38	9,84	20,50	46,15	24,35	133,01
18	Limpasan Langsung (DR)	mm	(11) - (12)	44,88	78,11	133,26	109,15	0,00	38,49	35,95	0,00	31,28	85,95	29,67	266,43
19	Total Limpasan ( $Q_{tot}$ )	mm	(17) + (18)	108,52	143,77	219,22	185,01	23,69	70,66	64,33	9,84	51,78	132,10	54,02	399,44
<b>DEBIT ALIRAN SUNGAI</b>															
20	Debit Efektif ( $Q_{efektif}$ )	m <sup>3</sup> /dt	Hitung	25,73	37,74	51,97	45,32	5,62	17,31	15,25	2,33	12,69	31,32	13,23	94,70

Sumber: Hasil Perhitungan

Lampiran 5.1c. Analisis Debit Metode FJ.Mock Tahun 2006

No	URAIAN			B U L A N											
				JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
1	Curah Hujan (R)	mm	Data	328,43	294,64	302,49	297,36	153,37	1,38	0,00	0,00	0,00	0,00	63,30	322,54
2	Hari Hujan (n)	hari	Data	20	18	15	14	11	0	0	0	0	0	4	14
<b>EVAPOTRANSPIRASI AKTUAL (Ea)</b>															
3	Evapotranspirasi potensial (ETo)	mm	Data	111,98	95,76	105,36	102,51	100,86	81,09	80,90	78,54	85,67	114,28	129,52	125,90
4	Permukaan Lahan Terbuka (m)	%	Asumsi	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
5	(m/20) . (18 - n)		Hitung	-4,13	0,15	7,22	10,20	18,48	44,43	45,00	45,00	45,00	45,00	35,05	10,28
6	$\Delta E = (ETo) * (m/20) . (18 - n)$	mm	(3) * (5)	-4,62	0,14	7,61	10,46	18,63	36,02	36,41	35,34	38,55	51,42	45,40	12,94
7	$Ea = ETo - \Delta E$	mm	(3) - (6)	116,60	95,62	97,75	92,06	82,22	45,07	44,50	43,20	47,12	62,85	84,12	112,96
<b>KELEBIHAN AIR (WS)</b>															
8	$Ds = P - Et$	mm	(1) - (7)	211,83	199,02	204,74	205,30	71,15	-43,69	-44,50	-43,20	-47,12	-62,85	-20,82	209,58
9	Kandungan Air Tanah (SS)	mm	Hitung	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-43,69	-44,50	-43,20	-47,12	-62,85	-20,82	0,00
10	Kapasitas Kelembaban Tanah (SMC)	mm	200	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	156,31	111,82	68,62	21,50	-41,35	-62,17	147,40
11	Kelebihan Air (WS)	mm	(8) - (9)	211,83	199,02	204,74	205,30	71,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	209,58
<b>ALIRAN &amp; PENYIMPANAN AIR TANAH</b>															
12	Infiltrasi (I)	mm	$i * (11)$	84,73	79,61	81,90	82,12	28,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	83,83
13	$0,5 . (1+k) . I$		Hitung	25,92	24,38	25,07	25,14	9,04	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	25,65
14	$k.V_{(n-1)}$		Hitung	64,80	54,43	47,29	43,41	41,13	30,10	18,36	11,32	7,09	4,55	3,03	2,12
15	Volume Penyimpanan (GSn)	mm	(13) + (14)	90,72	78,81	72,36	68,55	50,17	30,60	18,86	11,82	7,59	5,05	3,53	27,77
16	Perubahan Volume Air ( $\Delta GSn$ )		$V_n - V_{(n-1)}$	-17,28	-11,91	-6,46	-3,81	-18,38	-19,57	-11,74	-7,04	-4,23	-2,54	-1,52	24,24
17	Limpasan Dasar (BF)	mm	(12) - (16)	102,01	91,51	88,35	85,93	46,84	19,57	11,74	7,04	4,23	2,54	1,52	59,59
18	Limpasan Langsung (DR)	mm	(11) - (12)	127,10	119,41	122,84	123,18	42,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	125,75
19	Total Limpasan ( $Q_{tot}$ )	mm	(17) + (18)	229,11	210,93	211,20	209,11	89,53	19,57	11,74	7,04	4,23	2,54	1,52	185,34
<b>DEBIT ALIRAN SUNGAI</b>															
20	Debit Efektif ( $Q_{efektif}$ )	m <sup>3</sup> /dt	Hitung	54,32	55,36	50,07	51,23	21,23	4,79	2,78	1,67	1,04	0,60	0,37	43,94

Sumber: Hasil Perhitungan

### Lampiran 5.1d. Analisis Debit Metode FJ.Mock Tahun 2007

Luas sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Kali Lesti = 635,000 km<sup>2</sup>

No	URAIAN			B U L A N											
				JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
1	Curah Hujan (R)	mm	Data	110,65	422,65	354,31	333,98	82,90	31,91	2,24	0,00	0,00	70,88	116,60	771,31
2	Hari Hujan (n)	hari	Data	9	19	15	17	6	3	1	0	0	3	7	21
<b>EVAPOTRANSPIRASI AKTUAL (Ea)</b>															
3	Evapotranspirasi potensial (ETo)	mm	Data	110,71	98,17	104,17	102,58	104,64	92,08	85,30	80,74	90,21	117,05	108,91	109,34
4	Permukaan Lahan Terbuka (m)	%	Asumsi	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
5	(m/20) . (18 - n)		Hitung	23,60	-3,20	7,85	2,68	29,08	37,35	43,40	45,00	45,00	37,28	26,53	-7,10
6	$\Delta E = (ETo) * (m/20) . (18 - n)$	mm	(3) * (5)	26,13	-3,14	8,18	2,74	30,42	34,39	37,02	36,33	40,59	43,63	28,89	-7,76
7	$Ea = ETo - \Delta E$	mm	(3) - (6)	84,58	101,31	95,99	99,83	74,22	57,69	48,28	44,41	49,61	73,42	80,02	117,11
<b>KELEBIHAN AIR (WS)</b>															
8	$Ds = P - Et$	mm	(1) - (7)	26,07	321,34	258,32	234,15	8,68	-25,78	-46,04	-44,41	-49,61	-2,54	36,58	654,20
9	Kandungan Air Tanah (SS)	mm	Hitung	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-25,78	-46,04	-44,41	-49,61	-2,54	0,00	0,00
10	Kapasitas Kelembaban Tanah (SMC)	mm	200	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	174,22	128,18	83,78	34,16	31,63	68,21	200,00
11	Kelebihan Air (WS)	mm	(8) - (9)	26,07	321,34	258,32	234,15	8,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,58	654,20
<b>ALIRAN &amp; PENYIMPANAN AIR TANAH</b>															
12	Infiltrasi (I)	mm	i * (11)	10,43	128,53	103,33	93,66	3,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,63	261,68
13	$0,5 . (1+k) . I$		Hitung	3,63	39,06	31,50	28,60	1,54	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	4,89	79,00
14	$k.V_{(n-1)}$		Hitung	64,80	41,06	48,07	47,74	45,80	28,41	17,34	10,71	6,72	4,33	2,90	4,67
15	Volume Penyimpanan (GSn)	mm	(13) + (14)	68,43	80,12	79,57	76,34	47,35	28,91	17,84	11,21	7,22	4,83	7,79	83,68
16	Perubahan Volume Air ( $\Delta GSn$ )		$V_n - V_{(n-1)}$	-39,57	11,69	-0,55	-3,23	-28,99	-18,44	-11,06	-6,64	-3,98	-2,39	2,96	75,89
17	Limpasan Dasar (BF)	mm	(12) - (16)	50,00	116,85	103,88	96,89	32,47	18,44	11,06	6,64	3,98	2,39	11,68	185,79
18	Limpasan Langsung (DR)	mm	(11) - (12)	15,64	192,80	154,99	140,49	5,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,95	392,52
19	Total Limpasan ( $Q_{tot}$ )	mm	(17) + (18)	65,64	309,65	258,87	237,38	37,68	18,44	11,06	6,64	3,98	2,39	33,62	578,31
<b>DEBIT ALIRAN SUNGAI</b>															
20	Debit Efektif ( $Q_{efektif}$ )	m <sup>3</sup> /dt	Hitung	15,56	81,28	61,37	58,15	8,93	4,52	2,62	1,57	0,98	0,57	8,24	137,11

Sumber: Hasil Perhitungan

Lampiran 5.1e. Analisis Debit Metode FJ.Mock Tahun 2008

No	URAIAN			B U L A N											
				JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
1	Curah Hujan (R)	mm	Data	230,34	203,27	516,79	206,01	76,65	0,00	0,00	12,17	3,84	144,57	447,76	282,58
2	Hari Hujan (n)	hari	Data	13	15	21	13	6	0	0	1	1	10	19	13
<b>EVAPOTRANSPIRASI AKTUAL (Ea)</b>															
3	Evapotranspirasi potensial (ETo)	mm	Data	50,30	44,55	49,10	47,01	47,31	46,32	43,83	48,50	46,34	53,03	49,93	50,18
4	Permukaan Lahan Terbuka (m)	%	Asumsi	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
5	(m/20) . (18 - n)		Hitung	12,40	6,78	-8,43	13,53	31,25	45,00	45,00	41,48	42,60	20,38	-3,70	12,25
6	$\Delta E = (ETo) * (m/20) . (18 - n)$	mm	(3) * (5)	6,24	3,02	-4,14	6,36	14,78	20,85	19,72	20,12	19,74	10,80	-1,85	6,15
7	$Ea = ETo - \Delta E$	mm	(3) - (6)	44,07	41,53	53,23	40,65	32,53	25,48	24,11	28,38	26,60	42,23	51,77	44,03
<b>KELEBIHAN AIR (WS)</b>															
8	$Ds = P - Et$	mm	(1) - (7)	186,27	161,74	463,56	165,36	44,12	-25,48	-24,11	-16,21	-22,76	102,34	395,99	238,55
9	Kandungan Air Tanah (SS)	mm	Hitung	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-25,48	-24,11	-16,21	-22,76	0,00	0,00	0,00
10	Kapasitas Kelembaban Tanah (SMC)	mm	200	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	174,52	150,42	134,20	111,44	200,00	200,00	200,00
11	Kelebihan Air (WS)	mm	(8) - (9)	186,27	161,74	463,56	165,36	44,12	0,00	0,00	0,00	0,00	102,34	395,99	238,55
<b>ALIRAN &amp; PENYIMPANAN AIR TANAH</b>															
12	Infiltrasi (I)	mm	$i * (11)$	74,51	64,70	185,42	66,14	17,65	0,00	0,00	0,00	0,00	40,94	158,39	95,42
13	$0,5 . (1+k) . I$		Hitung	22,85	19,91	56,13	20,34	5,79	0,50	0,50	0,50	0,50	12,78	48,02	29,13
14	$k . V_{(n-1)}$		Hitung	64,80	52,59	43,50	59,78	48,07	32,32	19,69	12,12	7,57	4,84	10,57	35,16
15	Volume Penyimpanan (GSn)	mm	(13) + (14)	87,65	72,50	99,63	80,12	53,87	32,82	20,19	12,62	8,07	17,62	58,59	64,28
16	Perubahan Volume Air ( $\Delta GSn$ )		$V_n - V_{(n-1)}$	-20,35	-15,15	27,13	-19,51	-26,25	-21,05	-12,63	-7,58	-4,55	9,55	40,97	5,69
17	Limpasan Dasar (BF)	mm	(12) - (16)	94,86	79,85	158,30	85,65	43,90	21,05	12,63	7,58	4,55	31,38	117,43	89,73
18	Limpasan Langsung (DR)	mm	(11) - (12)	111,76	97,04	278,13	99,21	26,47	0,00	0,00	0,00	0,00	61,41	237,59	143,13
19	Total Limpasan ( $Q_{tot}$ )	mm	(17) + (18)	206,62	176,89	436,43	184,86	70,38	21,05	12,63	7,58	4,55	92,79	355,02	232,86
<b>DEBIT ALIRAN SUNGAI</b>															
20	Debit Efektif ( $Q_{efektif}$ )	m <sup>3</sup> /dt	Hitung	48,99	44,83	103,47	45,29	16,69	5,16	2,99	1,80	1,11	22,00	86,97	55,21

Sumber: Hasil Perhitungan

### Lampiran 5.1f. Analisis Debit Metode FJ.Mock Tahun 2009

Luas sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Kali Lesti = 635,000 km<sup>2</sup>

No	URAIAN			B U L A N											
				JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
1	Curah Hujan (R)	mm	Data	456,37	433,70	174,36	228,52	144,70	54,48	5,76	0,00	50,28	21,44	154,41	122,62
2	Hari Hujan (n)	hari	Data	21	17	9	10	10	2	1	0	4	2	9	8
<b>EVAPOTRANSPIRASI AKTUAL (Ea)</b>															
3	Evapotranspirasi potensial (ETo)	mm	Data	108,49	97,37	99,65	100,52	96,55	84,84	78,43	85,57	96,41	121,46	113,18	105,88
4	Permukaan Lahan Terbuka (m)	%	Asumsi	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
5	(m/20) . (18 - n)		Hitung	-6,93	2,65	21,50	19,85	21,10	39,75	43,40	45,00	36,03	39,30	23,70	25,15
6	$\Delta E = (ETo) * (m/20) . (18 - n)$	mm	(3) * (5)	-7,51	2,58	21,42	19,95	20,37	33,72	34,04	38,51	34,73	47,73	26,82	26,63
7	$Ea = ETo - \Delta E$	mm	(3) - (6)	116,01	94,79	78,23	80,57	76,18	51,11	44,39	47,06	61,68	73,73	86,35	79,25
<b>KELEBIHAN AIR (WS)</b>															
8	$Ds = P - Et$	mm	(1) - (7)	340,36	338,91	96,13	147,95	68,52	3,37	-38,63	-47,06	-11,40	-52,29	68,06	43,37
9	Kandungan Air Tanah (SS)	mm	Hitung	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-38,63	-47,06	-11,40	-52,29	0,00	0,00
10	Kapasitas Kelembaban Tanah (SMC)	mm	200	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	161,37	114,31	102,91	50,62	118,68	162,04
11	Kelebihan Air (WS)	mm	(8) - (9)	340,36	338,91	96,13	147,95	68,52	3,37	0,00	0,00	0,00	0,00	68,06	43,37
<b>ALIRAN &amp; PENYIMPANAN AIR TANAH</b>															
12	Infiltrasi (I)	mm	$i * (11)$	136,15	135,57	38,45	59,18	27,41	1,35	0,00	0,00	0,00	0,00	27,22	17,35
13	$0,5 . (1+k) . I$		Hitung	41,34	41,17	12,04	18,25	8,72	0,90	0,50	0,50	0,50	0,50	8,67	5,70
14	$k . V_{(n-1)}$		Hitung	64,80	63,69	62,91	44,97	37,93	27,99	17,34	10,70	6,72	4,33	2,90	6,94
15	Volume Penyimpanan (GSn)	mm	(13) + (14)	106,14	104,86	74,95	63,22	46,66	28,90	17,84	11,20	7,22	4,83	11,57	12,64
16	Perubahan Volume Air ( $\Delta GSn$ )		$V_n - V_{(n-1)}$	-1,86	-1,29	-29,91	-11,73	-16,57	-17,76	-11,06	-6,64	-3,98	-2,39	6,73	1,08
17	Limpasan Dasar (BF)	mm	(12) - (16)	138,00	136,85	68,36	70,91	43,98	19,11	11,06	6,64	3,98	2,39	20,49	16,27
18	Limpasan Langsung (DR)	mm	(11) - (12)	204,22	203,35	57,68	88,77	41,11	2,02	0,00	0,00	0,00	0,00	40,83	26,02
19	Total Limpasan ( $Q_{tot}$ )	mm	(17) + (18)	342,22	340,20	126,04	159,68	85,09	21,13	11,06	6,64	3,98	2,39	61,32	42,29
<b>DEBIT ALIRAN SUNGAI</b>															
20	Debit Efektif ( $Q_{efektif}$ )	m <sup>3</sup> /dt	Hitung	81,13	89,30	29,88	39,12	20,17	5,18	2,62	1,57	0,98	0,57	15,02	10,03

Sumber: Hasil Perhitungan

### Lampiran 5.1g. Analisis Debit Metode FJ.Mock Tahun 2010

Luas sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Kali Lesti = 635,000 km<sup>2</sup>

No	URAIAN			B U L A N											
				JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
1	Curah Hujan (R)	mm	Data	261,61	445,87	375,55	405,50	224,00	139,97	192,39	103,54	270,75	188,85	353,42	335,27
2	Hari Hujan (n)	hari	Data	17	15	16	17	16	10	8	5	14	12	15	18
<b>EVAPOTRANSPIRASI AKTUAL (Ea)</b>															
3	Evapotranspirasi potensial (ET <sub>o</sub> )	mm	Data	109,26	99,83	113,68	101,91	113,14	98,20	94,77	98,08	101,24	110,95	114,45	110,59
4	Permukaan Lahan Terbuka (m)	%	Asumsi	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
5	(m/20) . (18 - n)		Hitung	3,58	6,53	5,78	2,23	6,18	20,18	24,20	31,70	9,83	15,63	8,43	0,40
6	ΔE = (ET <sub>o</sub> ) * (m/20) . (18 - n)	mm	(3) * (5)	3,91	6,51	6,57	2,27	6,99	19,81	22,93	31,09	9,95	17,34	9,64	0,44
7	Ea = ET <sub>o</sub> - ΔE	mm	(3) - (6)	105,35	93,32	107,12	99,65	106,16	78,39	71,84	66,99	91,29	93,61	104,81	110,15
<b>KELEBIHAN AIR (WS)</b>															
8	D <sub>s</sub> = P - Et	mm	(1) - (7)	156,26	352,55	268,43	305,85	117,84	61,58	120,55	36,55	179,46	95,24	248,61	225,12
9	Kandungan Air Tanah (SS)	mm	Hitung	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	Kapasitas Kelembaban Tanah (SMC)	mm	200	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00
11	Kelebihan Air (WS)	mm	(8) - (9)	156,26	352,55	268,43	305,85	117,84	61,58	120,55	36,55	179,46	95,24	248,61	225,12
<b>ALIRAN &amp; PENYIMPANAN AIR TANAH</b>															
12	Infiltrasi (I)	mm	i * (11)	62,50	141,02	107,37	122,34	47,14	24,63	48,22	14,62	71,78	38,10	99,44	90,05
13	0,5 . (1+k) . I		Hitung	19,25	42,81	32,71	37,20	14,64	7,89	14,97	4,89	22,04	11,93	30,33	27,51
14	k.V <sub>(n-1)</sub>		Hitung	64,80	50,43	55,94	53,19	54,24	41,33	29,53	26,70	18,95	24,59	21,91	31,35
15	Volume Penyimpanan (GS <sub>n</sub> )	mm	(13) + (14)	84,05	93,24	88,65	90,39	68,88	49,22	44,50	31,58	40,99	36,52	52,25	58,86
16	Perubahan Volume Air (ΔGS <sub>n</sub> )		V <sub>n</sub> - V <sub>(n-1)</sub>	-23,95	9,19	-4,58	1,74	-21,52	-19,66	-4,72	-12,91	9,40	-4,47	15,73	6,62
17	Limpasan Dasar (BF)	mm	(12) - (16)	86,45	131,84	111,96	120,60	68,65	44,29	52,94	27,53	62,38	42,56	83,72	83,43
18	Limpasan Langsung (DR)	mm	(11) - (12)	93,75	211,53	161,06	183,51	70,71	36,95	72,33	21,93	107,68	57,14	149,17	135,07
19	Total Limpasan (Q <sub>tot</sub> )	mm	(17) + (18)	180,21	343,37	273,01	304,11	139,36	81,25	125,27	49,46	170,06	99,70	232,88	218,50
<b>DEBIT ALIRAN SUNGAI</b>															
20	Debit Efektif (Q <sub>efektif</sub> )	m <sup>3</sup> /dt	Hitung	42,72	90,13	64,73	74,50	33,04	19,90	29,70	11,73	41,66	23,64	57,05	51,80

Sumber: Hasil Perhitungan



## Lampiran 5.1h. Analisis Debit Metode FJ.Mock Tahun 2011

Luas sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Kali Lesti = 635,000 km<sup>2</sup>

No	URAIAN			B U L A N											
				JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
1	Curah Hujan (R)	mm	Data	233,30	229,78	240,68	348,12	138,33	19,09	0,64	0,00	1,92	16,81	238,55	306,75
2	Hari Hujan (n)	hari	Data	15	14	17	16	10	2	0	0	1	2	16	17
<b>EVAPOTRANSPIRASI AKTUAL (Ea)</b>															
3	Evapotranspirasi potensial (ETo)	mm	Data	114,67	100,79	102,30	98,09	101,53	81,82	83,10	83,02	91,89	115,67	110,95	114,55
4	Permukaan Lahan Terbuka (m)	%	Asumsi	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
5	(m/20) . (18 - n)		Hitung	7,63	11,00	1,95	6,05	19,13	39,88	44,20	45,00	43,40	39,73	3,87	3,07
6	$\Delta E = (ETo) * (m/20) . (18 - n)$	mm	(3) * (5)	8,74	11,09	1,99	5,93	19,42	32,63	36,73	37,36	39,88	45,95	4,30	3,52
7	$Ea = ETo - \Delta E$	mm	(3) - (6)	105,92	89,70	100,30	92,16	82,11	49,19	46,37	45,66	52,01	69,72	106,65	111,03
<b>KELEBIHAN AIR (WS)</b>															
8	$Ds = P - Et$	mm	(1) - (7)	127,38	140,08	140,38	255,96	56,22	-30,10	-45,73	-45,66	-50,09	-52,91	131,90	195,72
9	Kandungan Air Tanah (SS)	mm	Hitung	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-30,10	-45,73	-45,66	-50,09	-52,91	0,00	0,00
10	Kapasitas Kelembaban Tanah (SMC)	mm	200	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	169,90	124,16	78,51	28,41	-24,50	107,40	200,00
11	Kelebihan Air (WS)	mm	(8) - (9)	127,38	140,08	140,38	255,96	56,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	131,90	195,72
<b>ALIRAN &amp; PENYIMPANAN AIR TANAH</b>															
12	Infiltrasi (I)	mm	i * (11)	50,95	56,03	56,15	102,39	22,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	52,76	78,29
13	$0,5 . (1+k) . I$		Hitung	15,79	17,31	17,35	31,22	7,25	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	16,33	23,99
14	$k . V_{(n-1)}$		Hitung	64,80	48,35	39,40	34,04	39,16	27,84	17,00	10,50	6,60	4,26	2,86	11,51
15	Volume Penyimpanan (GSn)	mm	(13) + (14)	80,59	65,66	56,74	65,26	46,40	28,34	17,50	11,00	7,10	4,76	19,18	35,50
16	Perubahan Volume Air ( $\Delta GSn$ )		$V_n - V_{(n-1)}$	-27,41	-14,92	-8,92	8,52	-18,86	-18,06	-10,84	-6,50	-3,90	-2,34	14,42	16,31
17	Limpasan Dasar (BF)	mm	(12) - (16)	78,37	70,96	65,07	93,87	41,34	18,06	10,84	6,50	3,90	2,34	38,34	61,98
18	Limpasan Langsung (DR)	mm	(11) - (12)	76,43	84,05	84,23	153,58	33,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	79,14	117,43
19	Total Limpasan ( $Q_{tot}$ )	mm	(17) + (18)	154,79	155,00	149,30	247,44	75,07	18,06	10,84	6,50	3,90	2,34	117,48	179,41
<b>DEBIT ALIRAN SUNGAI</b>															
20	Debit Efektif ( $Q_{efektif}$ )	m <sup>3</sup> /dt	Hitung	36,70	40,69	35,40	60,62	17,80	4,42	2,57	1,54	0,96	0,55	28,78	42,54

Sumber: Hasil Perhitungan

## Lampiran 5.1i. Analisis Debit Metode FJ.Mock Tahun 2012

Luas sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Kali Lesti = 635,000 km<sup>2</sup>

No	URAIAN			B U L A N											
				JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
1	Curah Hujan (R)	mm	Data	460,63	328,08	409,51	189,82	53,24	18,62	13,60	3,60	3,02	27,33	214,30	395,70
2	Hari Hujan (n)	hari	Data	24	14	18	10	5	1	3	1	1	3	12	20
<b>EVAPOTRANSPIRASI AKTUAL (Ea)</b>															
3	Evapotranspirasi potensial (ETo)	mm	Data	107,00	96,10	107,44	102,49	102,86	87,56	79,27	80,35	93,76	119,77	119,84	112,37
4	Permukaan Lahan Terbuka (m)	%	Asumsi	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
5	(m/20) . (18 - n)		Hitung	-15,80	8,85	1,20	20,78	32,00	41,95	37,53	41,63	41,95	37,70	14,10	-5,90
6	$\Delta E = (ETo) * (m/20) . (18 - n)$	mm	(3) * (5)	-16,91	8,50	1,29	21,29	32,91	36,73	29,74	33,45	39,33	45,15	16,90	-6,63
7	$Ea = ETo - \Delta E$	mm	(3) - (6)	123,91	87,59	106,15	81,20	69,94	50,83	49,52	46,91	54,43	74,62	102,94	119,00
<b>KELEBIHAN AIR (WS)</b>															
8	$Ds = P - Et$	mm	(1) - (7)	336,72	240,49	303,36	108,62	-16,70	-32,21	-35,92	-43,31	-51,41	-47,29	111,36	276,70
9	Kandungan Air Tanah (SS)	mm	Hitung	0,00	0,00	0,00	0,00	-16,70	-32,21	-35,92	-43,31	-51,41	-47,29	0,00	0,00
10	Kapasitas Kelembaban Tanah (SMC)	mm	200	200,00	200,00	200,00	200,00	183,30	151,09	115,17	71,86	20,45	-26,83	84,52	200,00
11	Kelebihan Air (WS)	mm	(8) - (9)	336,72	240,49	303,36	108,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	111,36	276,70
<b>ALIRAN &amp; PENYIMPANAN AIR TANAH</b>															
12	Infiltrasi (I)	mm	i * (11)	134,69	96,20	121,34	43,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	44,54	110,68
13	$0,5 . (1+k) . I$		Hitung	40,91	29,36	36,90	13,53	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	13,86	33,70
14	$k . V_{(n-1)}$		Hitung	64,80	63,42	55,67	55,54	41,45	25,17	15,40	9,54	6,02	3,91	2,65	9,91
15	Volume Penyimpanan (GSn)	mm	(13) + (14)	105,71	92,78	92,57	69,08	41,95	25,67	15,90	10,04	6,52	4,41	16,51	43,61
16	Perubahan Volume Air ( $\Delta GSn$ )		$V_n - V_{(n-1)}$	-2,29	-12,92	-0,21	-23,49	-27,13	-16,28	-9,77	-5,86	-3,52	-2,11	12,10	27,10
17	Limpasan Dasar (BF)	mm	(12) - (16)	136,98	109,12	121,55	66,94	27,13	16,28	9,77	5,86	3,52	2,11	32,45	83,58
18	Limpasan Langsung (DR)	mm	(11) - (12)	202,03	144,29	182,01	65,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	66,81	166,02
19	Total Limpasan ( $Q_{tot}$ )	mm	(17) + (18)	339,02	253,41	303,57	132,11	27,13	16,28	9,77	5,86	3,52	2,11	99,26	249,60
<b>DEBIT ALIRAN SUNGAI</b>															
20	Debit Efektif ( $Q_{efektif}$ )	m <sup>3</sup> /dt	Hitung	80,37	64,22	71,97	32,37	6,43	3,99	2,32	1,39	0,86	0,50	24,32	59,18

Sumber: Hasil Perhitungan

## Lampiran 5.1j. Analisis Debit Metode FJ.Mock Tahun 2013

Luas sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Kali Lesti = 635,000 km<sup>2</sup>

No	URAIAN			B U L A N											
				JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
1	Curah Hujan (R)	mm	Data	515,25	311,71	281,86	188,86	100,19	4,45	0,00	0,45	6,74	8,00	67,22	314,57
2	Hari Hujan (n)	hari	Data	21	19	16	11	3	1	0	0	1	0	7	13
<b>EVAPOTRANSPIRASI AKTUAL (Ea)</b>															
3	Evapotranspirasi potensial (ET <sub>o</sub> )	mm	Data	106,44	91,07	100,19	89,56	101,80	95,25	79,09	89,47	91,23	107,32	105,93	110,25
4	Permukaan Lahan Terbuka (m)	%	Asumsi	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
5	(m/20) . (18 - n)		Hitung	-6,30	-2,28	5,00	17,70	36,58	43,63	45,00	43,88	41,95	44,20	26,40	12,60
6	ΔE = (ET <sub>o</sub> ) * (m/20) . (18 - n)	mm	(3) * (5)	-6,71	-2,07	5,01	15,85	37,23	41,55	35,59	39,26	38,27	47,44	27,97	13,89
7	Ea = ET <sub>o</sub> - ΔE	mm	(3) - (6)	113,14	93,14	95,18	73,71	64,57	53,69	43,50	50,22	52,96	59,89	77,96	96,36
<b>KELEBIHAN AIR (WS)</b>															
8	Ds = P - Et	mm	(1) - (7)	402,11	218,57	186,68	115,15	35,62	-49,24	-43,50	-49,77	-46,22	-51,89	-10,74	218,21
9	Kandungan Air Tanah (SS)	mm	Hitung	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-49,24	-43,50	-49,77	-46,22	-51,89	-10,74	0,00
10	Kapasitas Kelembaban Tanah (SMC)	mm	200	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	150,76	107,26	57,49	11,27	-40,62	-51,36	166,85
11	Kelebihan Air (WS)	mm	(8) - (9)	402,11	218,57	186,68	115,15	35,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	218,21
<b>ALIRAN &amp; PENYIMPANAN AIR TANAH</b>															
12	Infiltrasi (I)	mm	i * (11)	160,84	87,43	74,67	46,06	14,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	87,28
13	0,5 . (1+k) . I		Hitung	48,75	26,73	22,90	14,32	4,77	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	26,69
14	k . V <sub>(n-1)</sub>		Hitung	64,80	68,13	56,92	47,89	37,33	25,26	15,46	9,57	6,04	3,93	2,66	1,89
15	Volume Penyimpanan (GS <sub>n</sub> )	mm	(13) + (14)	113,55	94,86	79,82	62,21	42,10	25,76	15,96	10,07	6,54	4,43	3,16	28,58
16	Perubahan Volume Air (ΔGS <sub>n</sub> )		V <sub>n</sub> - V <sub>(n-1)</sub>	5,55	-18,69	-15,04	-17,61	-20,11	-16,34	-9,80	-5,88	-3,53	-2,12	-1,27	25,42
17	Limpasan Dasar (BF)	mm	(12) - (16)	155,29	106,12	89,72	63,67	34,36	16,34	9,80	5,88	3,53	2,12	1,27	61,86
18	Limpasan Langsung (DR)	mm	(11) - (12)	241,26	131,14	112,01	69,09	21,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	130,93
19	Total Limpasan (Q <sub>tot</sub> )	mm	(17) + (18)	396,55	237,26	201,73	132,76	55,73	16,34	9,80	5,88	3,53	2,12	1,27	192,79
<b>DEBIT ALIRAN SUNGAI</b>															
20	Debit Efektif (Q <sub>efektif</sub> )	m <sup>3</sup> /dt	Hitung	94,02	62,28	47,83	32,52	13,21	4,00	2,32	1,39	0,86	0,50	0,31	45,71

Sumber: Hasil Perhitungan

Lampiran: Data Debit Lapangan (AWLR Tawangrejeni)

**DATA DEBIT RERATA BULANAN (M3/DT)**  
Stasiun AWLR Tawangrejeni

TAHUN	B U L A N											
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
2003	66,50	62,91	43,19	22,43	13,36	4,32	2,12	1,95	1,71	1,53	1,27	62,19
2004	65,11	26,50	21,04	30,81	3,00	1,63	1,96	1,30	1,57	1,04	13,15	47,84
2005	61,98	63,95	79,08	52,66	6,96	6,99	3,39	3,25	2,68	5,53	32,66	79,65
2006	43,31	20,07	35,36	26,03	7,02	5,05	3,37	2,77	0,97	0,64	20,98	33,49
2007	64,71	63,32	59,31	21,77	5,86	5,16	3,92	2,72	0,81	0,74	3,51	23,20
2008	82,26	116,20	85,14	47,00	11,00	4,80	4,33	3,89	0,95	5,00	78,90	126,57
2009	57,64	55,85	31,84	15,32	2,45	2,57	2,44	1,84	0,63	0,83	16,69	37,45
2010	48,93	49,68	13,73	15,87	2,60	2,19	1,83	1,69	1,41	1,09	1,14	37,79
2011	42,90	106,15	81,34	61,26	17,77	3,69	3,21	2,54	2,56	3,35	61,68	52,59
2012	58,99	40,44	62,54	49,66	17,81	2,57	2,10	1,91	1,92	1,90	56,08	38,19
2013	66,67	63,83	68,41	41,45	12,09	2,67	1,36	1,19	1,06	4,09	31,09	24,13
Max	82,26	116,20	85,14	61,26	17,81	6,99	4,33	3,89	2,68	5,53	78,90	126,57
Rerata	59,91	60,81	52,82	34,93	9,08	3,79	2,73	2,28	1,48	2,34	28,83	51,19
Min	42,90	20,07	13,73	15,32	2,45	1,63	1,36	1,19	0,63	0,64	1,14	23,20

Sumber: Perum Jasa Tirta 1, 2013

Lampiran 5.2a. Keseimbangan Air Tahun 2017

Bln	periode	hari	Total Ketersediaan Air	Kebutuhan Air				Total Kebutuhan Air	Keseimbangan Air	
				Domestik		Non Domestik			m³	Kondisi
			m³	m³/dt	m³	m³/dt	m³	m³		
Jan	1	31	71.849.438	1,32	3.523.141	0,59	1.577.329	5.100.470	66.748.968	Surplus
Peb	1	28	99.428.466	1,32	3.182.192	0,59	1.424.684	4.606.876	94.821.590	Surplus
Mar	1	31	98.132.852	1,32	3.523.141	0,59	1.577.329	5.100.470	93.032.382	Surplus
Apr	1	30	32.541.039	1,32	3.409.491	0,59	1.526.447	4.935.938	27.605.101	Surplus
Mei	1	31	17.293.883	1,32	3.523.141	0,59	1.577.329	5.100.470	12.193.413	Surplus
Jun	1	30	8.357.732	1,32	3.409.491	0,59	1.526.447	4.935.938	3.421.794	Surplus
Jul	1	31	4.880.719	1,32	3.523.141	0,59	1.577.329	5.100.470	(219.750)	Defisit
Ags	1	31	3.008.784	1,32	3.523.141	0,59	1.577.329	5.100.470	(2.091.686)	Defisit
Sep	1	30	2.233.621	1,32	3.409.491	0,59	1.526.447	4.935.938	(2.702.317)	Defisit
Okt	1	31	1.340.173	1,32	3.523.141	0,59	1.577.329	5.100.470	(3.760.297)	Defisit
Nop	1	30	3.004.702	1,32	3.409.491	0,59	1.526.447	4.935.938	(1.931.237)	Defisit
Des	1	31	114.302.807	1,32	3.523.141	0,59	1.577.329	5.100.470	109.202.338	Surplus

Sumber: Hasil Perhitungan

Lampiran 5.2b. Keseimbangan Air Tahun 2018

Bln	periode	hari	Total Ketersediaan Air	Kebutuhan Air				Total Kebutuhan Air	Keseimbangan Air	
				Domestik		Non Domestik			m³	Kondisi
			m³	m³/dt	m³	m³/dt	m³	m³		
Jan	1	31	71.849.438	1,32	3.539.298	0,64	1.723.201	5.262.499	66.586.939	Surplus
Peb	1	28	99.428.466	1,32	3.196.786	0,64	1.556.439	4.753.225	94.675.241	Surplus
Mar	1	31	98.132.852	1,32	3.539.298	0,64	1.723.201	5.262.499	92.870.353	Surplus
Apr	1	30	32.541.039	1,32	3.425.127	0,64	1.667.614	5.092.741	27.448.298	Surplus
Mei	1	31	17.293.883	1,32	3.539.298	0,64	1.723.201	5.262.499	12.031.384	Surplus
Jun	1	30	8.357.732	1,32	3.425.127	0,64	1.667.614	5.092.741	3.264.991	Surplus
Jul	1	31	4.880.719	1,32	3.539.298	0,64	1.723.201	5.262.499	(381.780)	Defisit
Ags	1	31	3.008.784	1,32	3.539.298	0,64	1.723.201	5.262.499	(2.253.715)	Defisit
Sep	1	30	2.233.621	1,32	3.425.127	0,64	1.667.614	5.092.741	(2.859.120)	Defisit
Okt	1	31	1.340.173	1,32	3.539.298	0,64	1.723.201	5.262.499	(3.922.326)	Defisit
Nop	1	30	3.004.702	1,32	3.425.127	0,64	1.667.614	5.092.741	(2.088.039)	Defisit
Des	1	31	114.302.807	1,32	3.539.298	0,64	1.723.201	5.262.499	109.040.308	Surplus

Sumber: Hasil Perhitungan

Lampiran 5.2c. Keseimbangan Air Tahun 2020

Bln	periode	hari	Total Ketersediaan Air	Kebutuhan Air				Total Kebutuhan Air	Keseimbangan Air	
				Domestik		Non Domestik			m³	Kondisi
			m³	m³/dt	m³	m³/dt	m³	m³		
Jan	1	31	71.849.438	1,33	3.571.884	0,80	2.131.437	5.703.321	66.146.117	Surplus
Peb	1	28	99.428.466	1,33	3.226.218	0,80	1.925.169	5.151.387	94.277.079	Surplus
Mar	1	31	98.132.852	1,33	3.571.884	0,80	2.131.437	5.703.321	92.429.531	Surplus
Apr	1	30	32.541.039	1,33	3.456.662	0,80	2.062.681	5.519.343	27.021.696	Surplus
Mei	1	31	17.293.883	1,33	3.571.884	0,80	2.131.437	5.703.321	11.590.562	Surplus
Jun	1	30	8.357.732	1,33	3.456.662	0,80	2.062.681	5.519.343	2.838.389	Surplus
Jul	1	31	4.880.719	1,33	3.571.884	0,80	2.131.437	5.703.321	(822.602)	Defisit
Ags	1	31	3.008.784	1,33	3.571.884	0,80	2.131.437	5.703.321	(2.694.538)	Defisit
Sep	1	30	2.233.621	1,33	3.456.662	0,80	2.062.681	5.519.343	(3.285.722)	Defisit
Okt	1	31	1.340.173	1,33	3.571.884	0,80	2.131.437	5.703.321	(4.363.149)	Defisit
Nop	1	30	3.004.702	1,33	3.456.662	0,80	2.062.681	5.519.343	(2.514.641)	Defisit
Des	1	31	114.302.807	1,33	3.571.884	0,80	2.131.437	5.703.321	108.599.486	Surplus

Sumber: Hasil Perhitungan

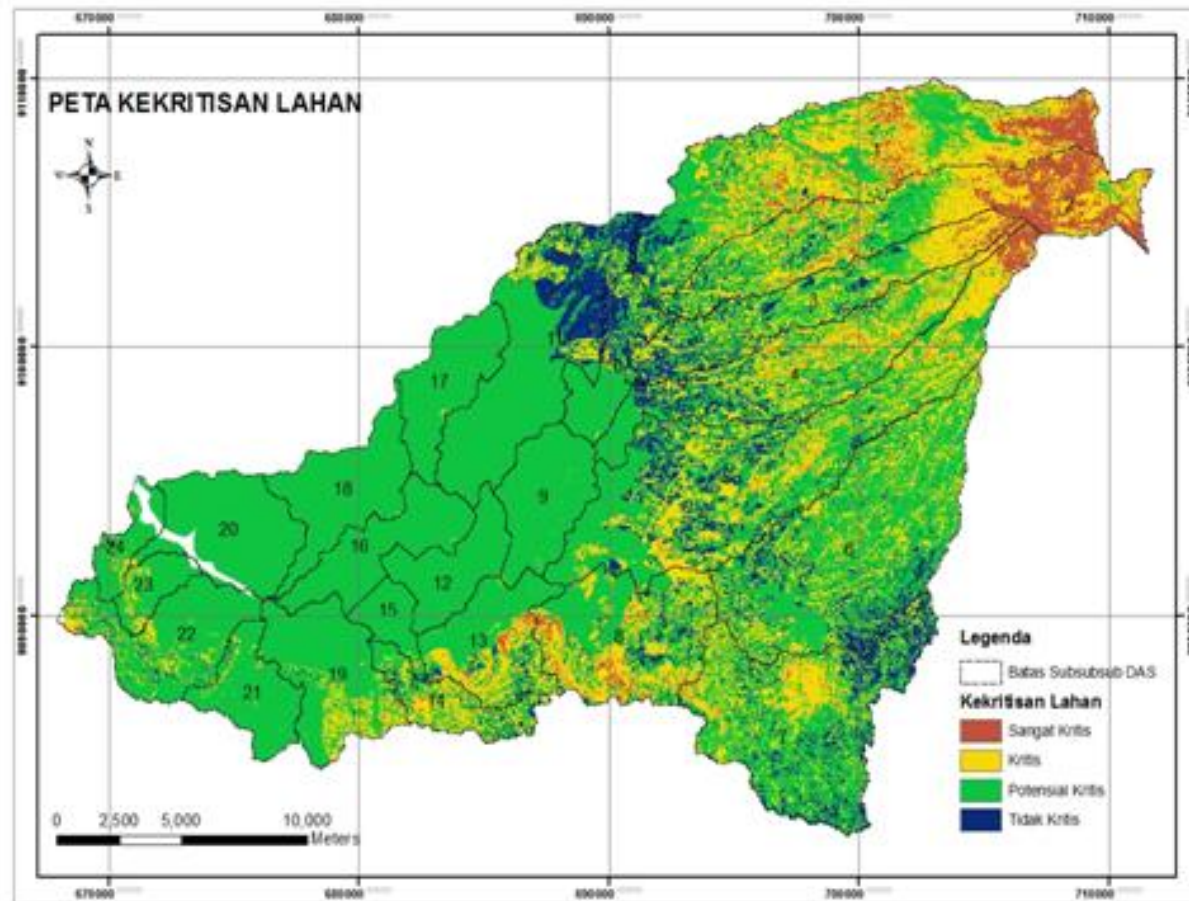
Lampiran 5.2d. Keseimbangan Air Tahun 2023

Bln	periode	hari	Total Ketersediaan Air	Kebutuhan Air				Total Kebutuhan Air	Keseimbangan Air	
				Domestik		Non Domestik			m³	Kondisi
			m³	m³/dt	m³	m³/dt	m³	m³		
Jan	1	31	71.849.438	1,35	3.621.449	1,21	3.242.309	6.863.757	64.985.681	Surplus
Peb	1	28	99.428.466	1,35	3.270.986	1,21	2.928.537	6.199.523	93.228.943	Surplus
Mar	1	31	98.132.852	1,35	3.621.449	1,21	3.242.309	6.863.757	91.269.095	Surplus
Apr	1	30	32.541.039	1,35	3.504.628	1,21	3.137.718	6.642.346	25.898.693	Surplus
Mei	1	31	17.293.883	1,35	3.621.449	1,21	3.242.309	6.863.757	10.430.126	Surplus
Jun	1	30	8.357.732	1,35	3.504.628	1,21	3.137.718	6.642.346	1.715.386	Surplus
Jul	1	31	4.880.719	1,35	3.621.449	1,21	3.242.309	6.863.757	(1.983.038)	Defisit
Ags	1	31	3.008.784	1,35	3.621.449	1,21	3.242.309	6.863.757	(3.854.974)	Defisit
Sep	1	30	2.233.621	1,35	3.504.628	1,21	3.137.718	6.642.346	(4.408.725)	Defisit
Okt	1	31	1.340.173	1,35	3.621.449	1,21	3.242.309	6.863.757	(5.523.585)	Defisit
Nop	1	30	3.004.702	1,35	3.504.628	1,21	3.137.718	6.642.346	(3.637.644)	Defisit
Des	1	31	114.302.807	1,35	3.621.449	1,21	3.242.309	6.863.757	107.439.050	Surplus

Sumber: Hasil Perhitungan

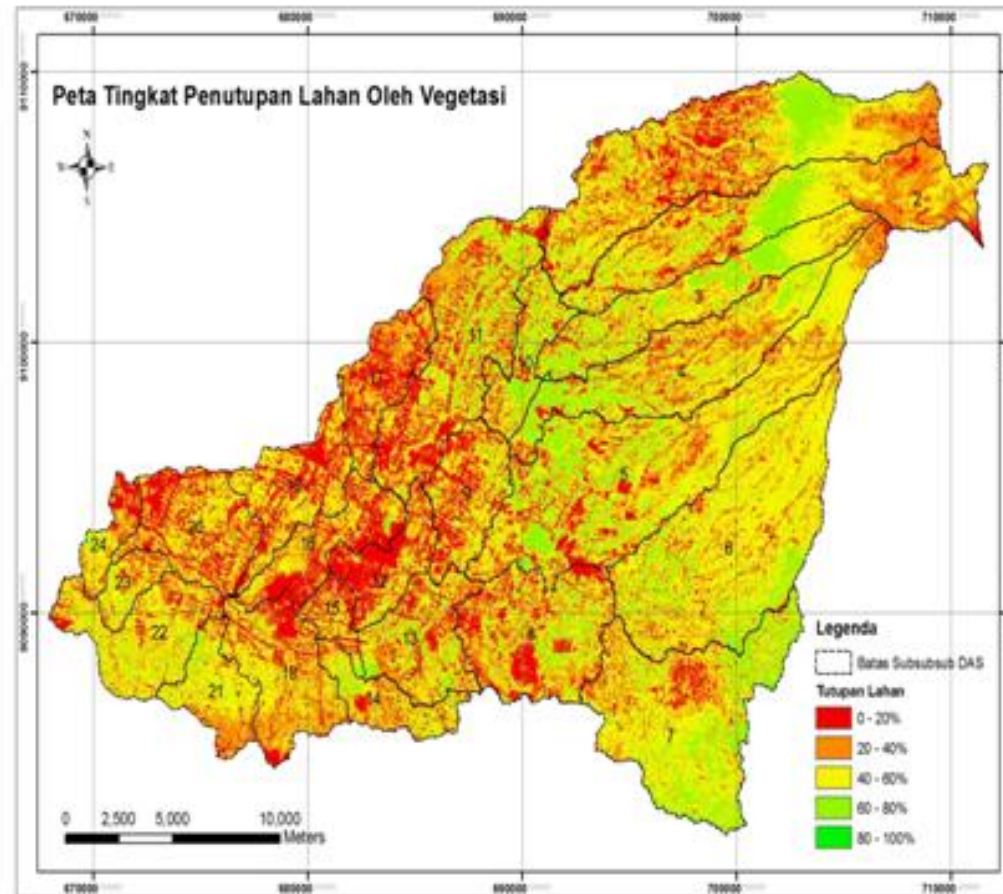


## Peta Kekritisan Lahan



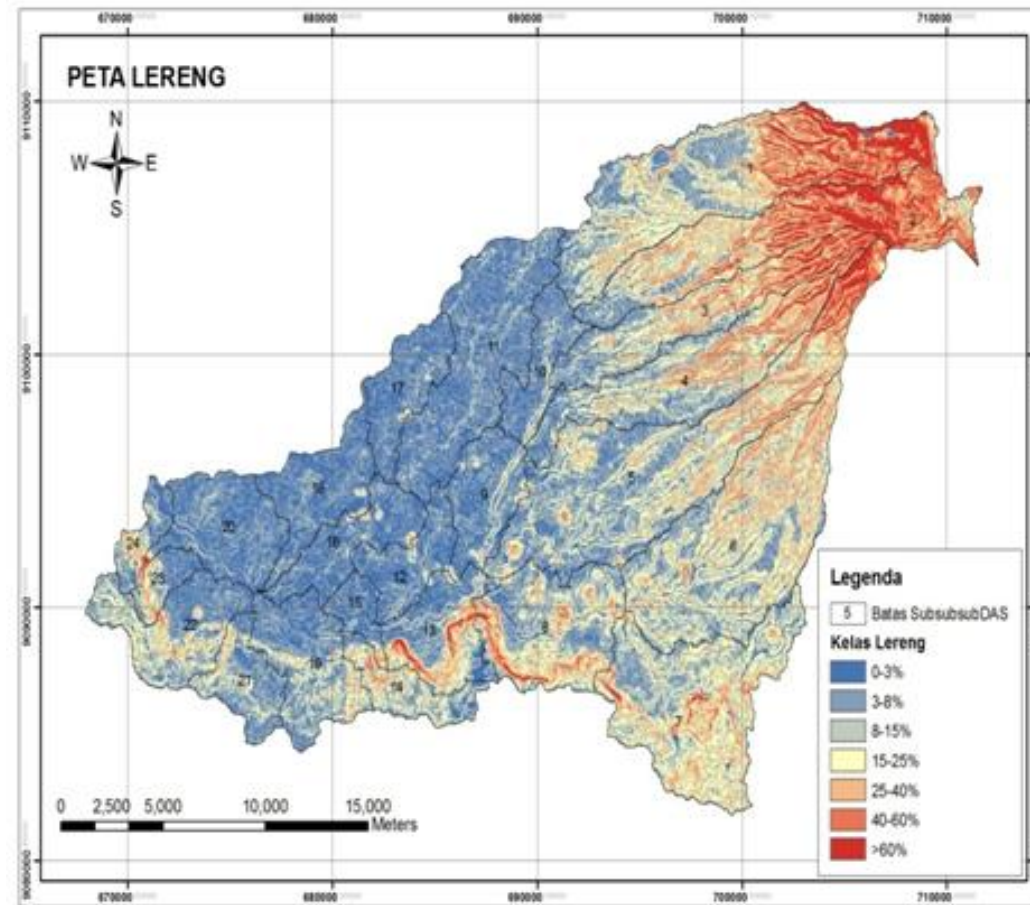
Sumber: BBWS Brantas, 2013

Peta Tingkat Tutupan Lahan Oleh Vegetasi



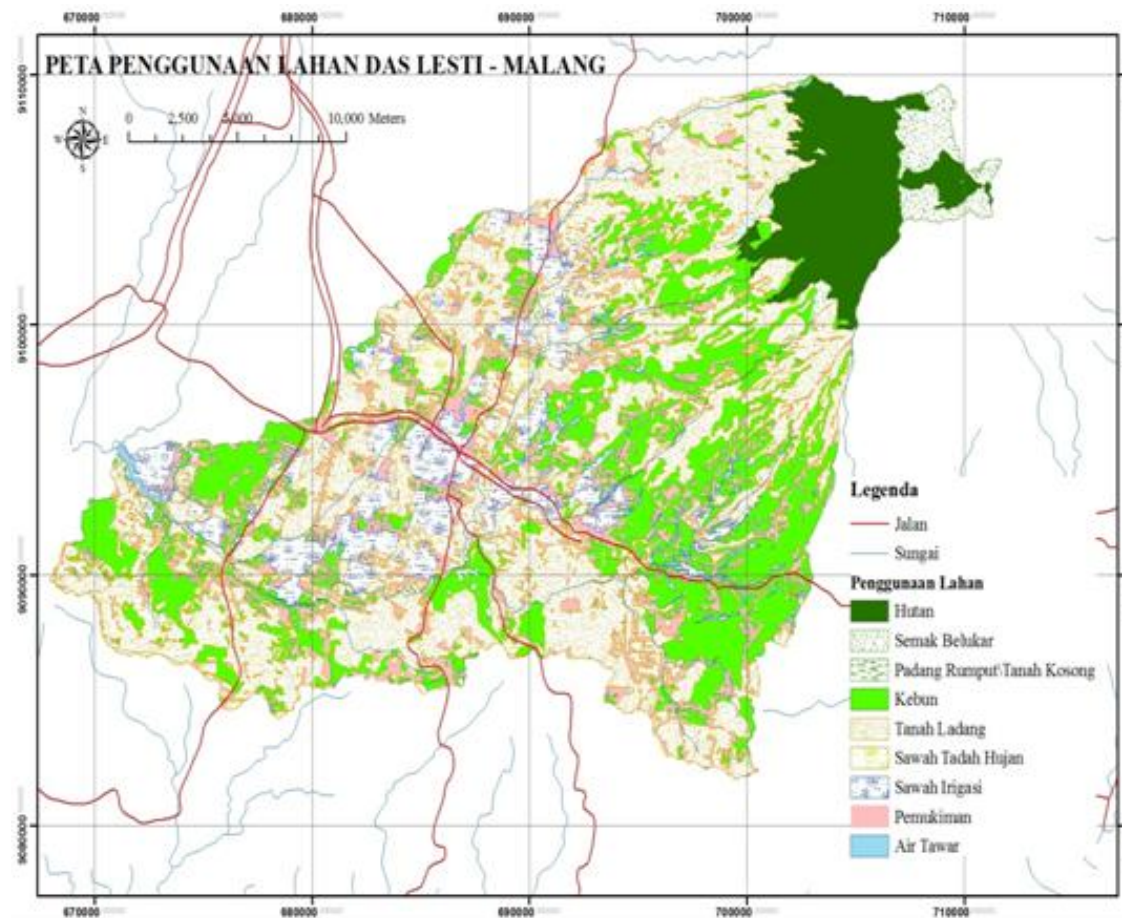
Sumber: BBWS Brantas, 2013

Peta Kemiringan Lahan



Sumber: BBWS Brantas, 2013

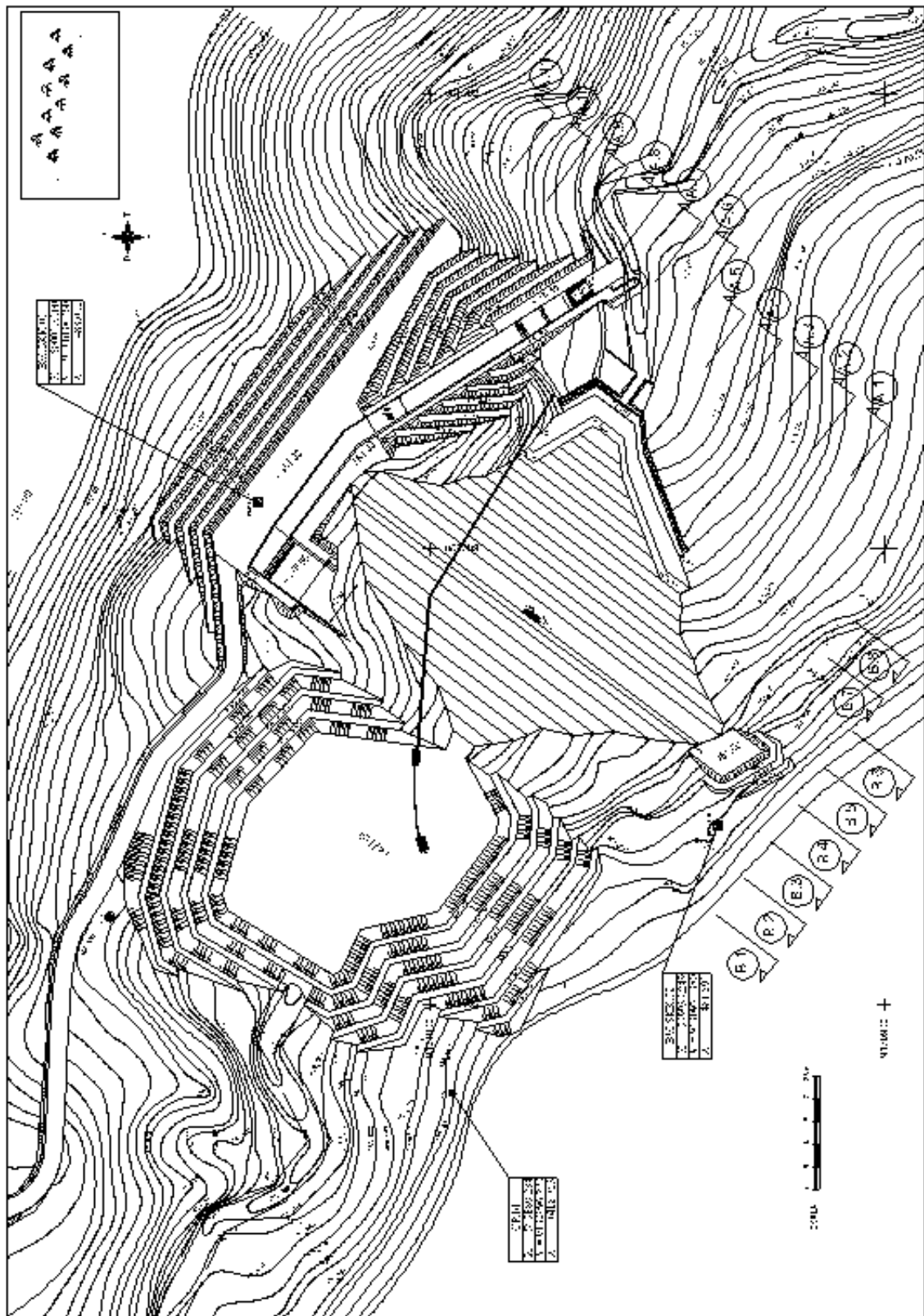
Peta Tata Guna Lahan Tahun 2013



Sumber: BBWS Brantas, 2013

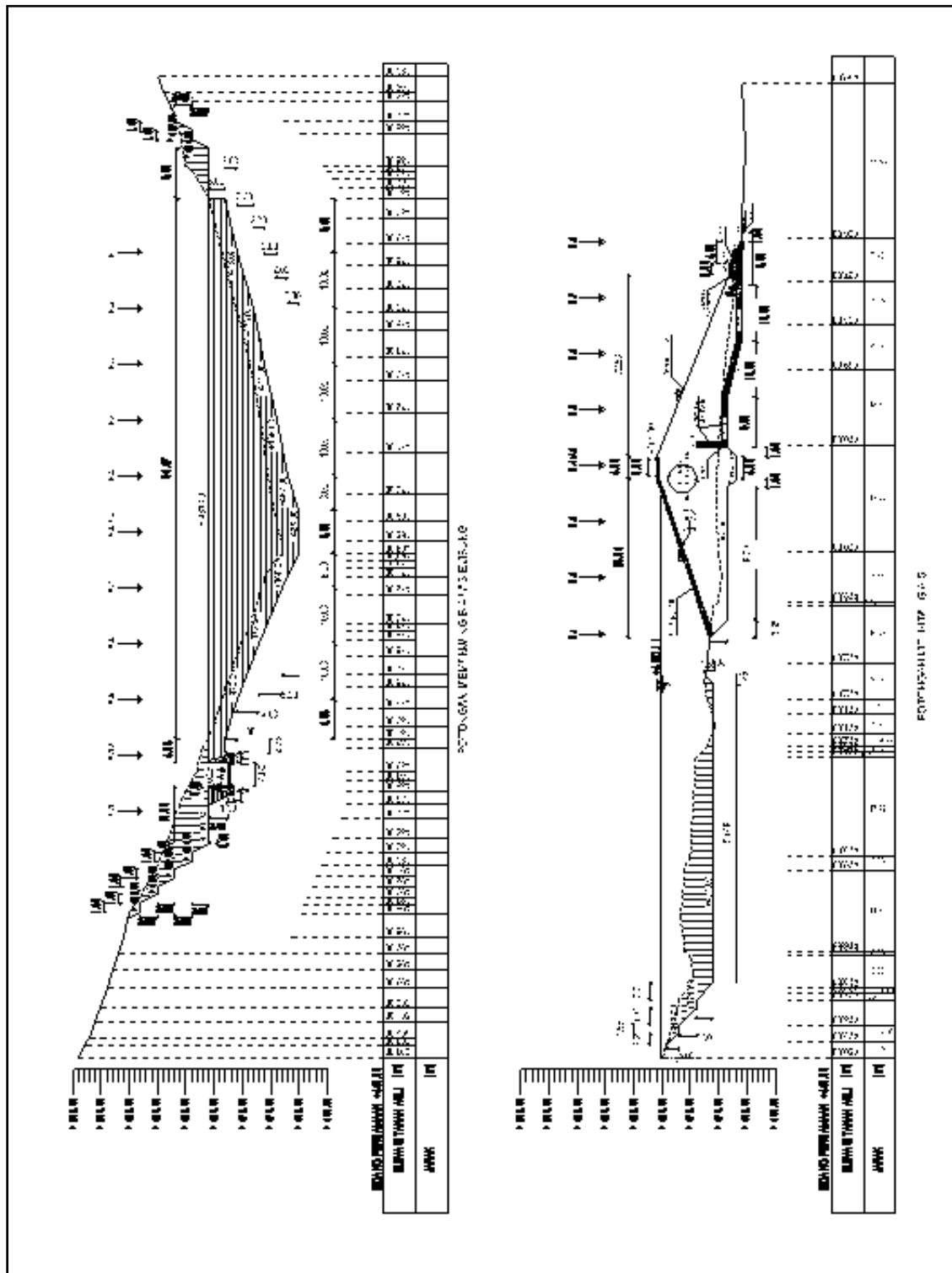


## Denah Embung Kukur-kukur



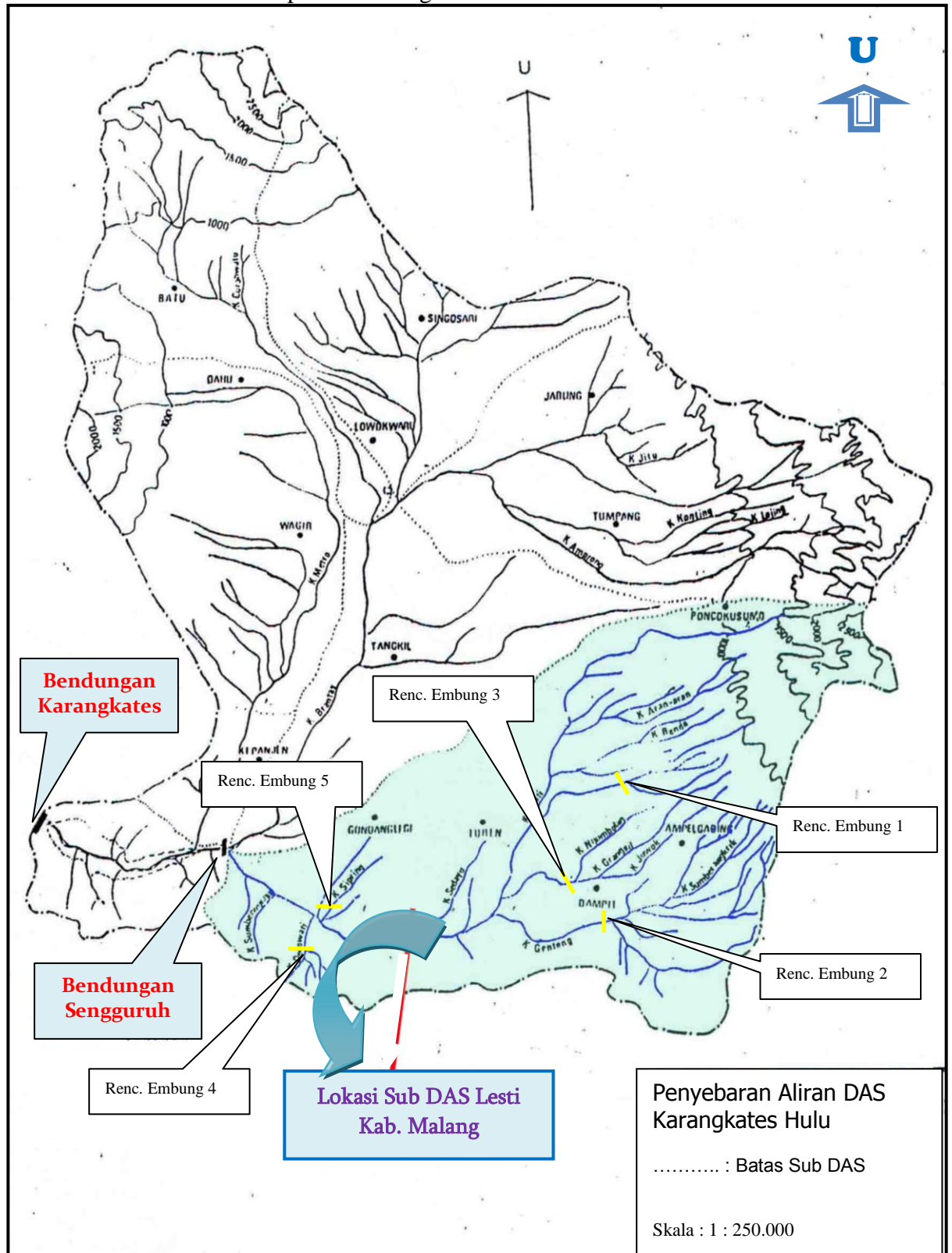
Sumber: BBWS Brantas, 2012

## Potongan Memanjang dan Melintang Embung Kukur-Kukur



Sumber: BBWS Brantas, 2012

Peta Lokasi Rencana Penempatan Embung



[illegible]





BERITA ACARA  
UJIAN/SIDANG TESIS

Pada

Hari, Tanggal : Kamis, 05 Januari 2017  
Jam : 15.00-17.00 WIB  
Tempat : R. Sidang Pascasarjana

telah dilaksanakan Ujian Tesis :

Judul : Analisis Ketersediaan Sumber Daya Air dan Upaya Konservasi  
Sub Das Lesti Kabupaten Malang

Nama Mahasiswa : ABDUL SOMAT BUKORI  
Nrp. : 3314202801  
Program Studi : S-2 Teknik Lingkungan ITS  
Bidang Keahlian : Magister Teknik Sanitasi Lingkungan

Tanda Tangan : 

Dari hasil pengujian dinyatakan :

1. LULUS DENGAN PERBAIKAN MINOR \*)
- ~~2. MENGULANG UJIAN LISAN~~
- ~~3. TIDAK LULUS~~

Saran-saran perbaikan:

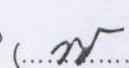
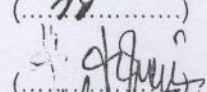
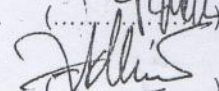
- 17/01/2017
- a) Kenapa luas lahan diarsir? → data.
  - a) Kalau ada data penguasaan → gunakan di data penguasaan
  - a) Lihat coretan di data dan tem

- Jan 17/01 2017
- Gambar desain embung di lengkapi untuk menghitung RAB
  - peta lahan rencana embung
  - penjelasan strategi upaya konservasi meliputi apa saja → dibahas
  - lahan berapa m<sup>2</sup> & uraian lahan
  - perhitungan desain embung & kriteria lahan embung dijelaskan
  - Abstrak tulis & English
  - Kesimpulan - analisis pemukiman alternatif
  - Saran

Tim Penguji :

Nama

(Tanda Tangan)

1. MAS AGUS MARDYANTO, PhD. 
2. BICBY VOJANT T., PhD. 
3. ADHI YUNIARTO, PhD. 

Pembimbing,



Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT

Keterangan:

\*) Jangka waktu perbaikan tesis (lingkari salah satu) : 1 - 2 - 3 - 4 minggu.

Apabila waktu tersebut tidak dipenuhi, maka nilai ujian tesis dianggap batal dan mahasiswa yang bersangkutan diwajibkan mengulang ujian lisan.





**BERITA ACARA  
SEMINAR KEMAJUAN TESIS  
Semester Gasal 2016/ 2017**

Pada

Hari, tanggal : Senin, 05 Desember 2016  
Jam : 09.30 - 11.00  
Tempat : R. Sidang Pascasarjana

telah dilaksanakan Seminar Kemajuan Tesis :

Judul Tesis : Analisis Ketersediaan Sumber Daya Air dan Upaya Konservasi Sub-Sub Das Kali Lesti Hulu, Genteng dan Lesti Hilir Wilayah Kabupaten Malang

Nama Mahasiswa : ABDUL SOMAT BUKORI  
NRP : 3314202801  
Program Studi : S2 Teknik Lingkungan FTSP-ITS  
Bidang Studi : Magister Teknik Sanitasi Lingkungan

Tanda Tangan : 

Berdasarkan hasil evaluasi penguji, dinyatakan bahwa proposal tersebut :

1. dapat mengikuti ujian Tesis
2. tidak dapat mengikuti ujian Tesis

**Saran-saran perbaikan :**


*B. Ardyanto*  
*27/12*  
1. Reduksional lebar dan catatan draft tesis  
2. Tabel 2 konversi & faktor 2 di mana akan dan konversi, manula penyerta  
3. Model yg digunakan, berapa air & tangkapan semua s/d per 2030 & bigambar  
4. Lembar grafik/ pelatuk hasil analisis menggunakan model yg digunakan  
5. Sebutkan semua sumber air yg ada, meliputi yg hamparan & hampiran sumber air

- R. Ardyanto*  
*27/12*
1. Ristek/sumber data dari Cap. pakuhan binas kedait. ✓
  2. Tujuan Penelitian No. 1. → ✓
  3. Kemampuan analisis berdasar R. lingkup sub-sub das ✓
  4. Dasar pemetaan 135 %/hr. 30% kebocoran dll. ✓
  5. Diperbaiki bagian ~~metode~~ metodologi. ✓

*MAN*  
1) Lebar coran pl. draft Dstul  
2) Apa saja flow & berapa air?

*27/12*

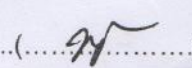
Pembimbing,

  
Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT

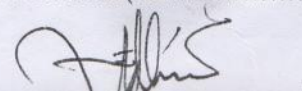
Tim Penguji :

Nama

(Tanda Tangan)

1. MAS AGUS MARDYANTO, PhD. ()

2. BIEBY VOIJANT. T., PhD. ()

3. ADHI YUNIARTO, PhD. ()



## KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR/TESIS

Nama  
RP  
Judul Tugas  
Akhir/Tesis

: Abdul Somat Bukori  
: 3314202801  
: Analisis Ketersediaan Sumber Daya Air dan  
Upaya Konservasi sub-sub DAS Lesti Hulu,  
Benteng dan Lesti Hilir

Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
11/10/16	Survey Data & pendobung	f
1/11/16	Hasil Survey Data & pendobung	f
8/11/16	Analisis Hidrologi	f
15/11/16	Perhitungan kebutuhan Air (Aspek <del>Analisis</del> Teknis)	f
22/11/16	Aspek Teknik : Aspek Lingg./Konservasi Aspek Finansial.	f

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Lamongan, 23 Oktober 1984, merupakan anak ke tiga dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Tanjung Sari Surabaya, SDN Tandes Kidul II Surabaya, SLTP.N I Babat Lamongan, SMU Ta'miriyah Surabaya dan Diploma III Teknik Sipil ITS Surabaya pada tahun 2003. Kemudian melanjutkan pendidikan pada program Diploma IV Teknik Sipil ITS pada tahun 2009 jurusan Bangunan Transportasi. Sejak tahun 2010 penulis bekerja sebagai aparatur sipil Negara di Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jendetal Sumber Daya Air. Pada tahun 2015 penulis melaksanakan tugas belajar sebagai karyasiswa dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat dalam program studi Magister Teknik Sanitasi Lingkungan di Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS Surabaya dan memperoleh gelar MT pada tahun 2017. Sekembalinya dari tugas belajar, penulis melanjutkan tugas sebagai aparatur sipil Negara di Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. Penulis dapat dihubungi lewat email. [abdulsomatbukori@gmail.com](mailto:abdulsomatbukori@gmail.com)